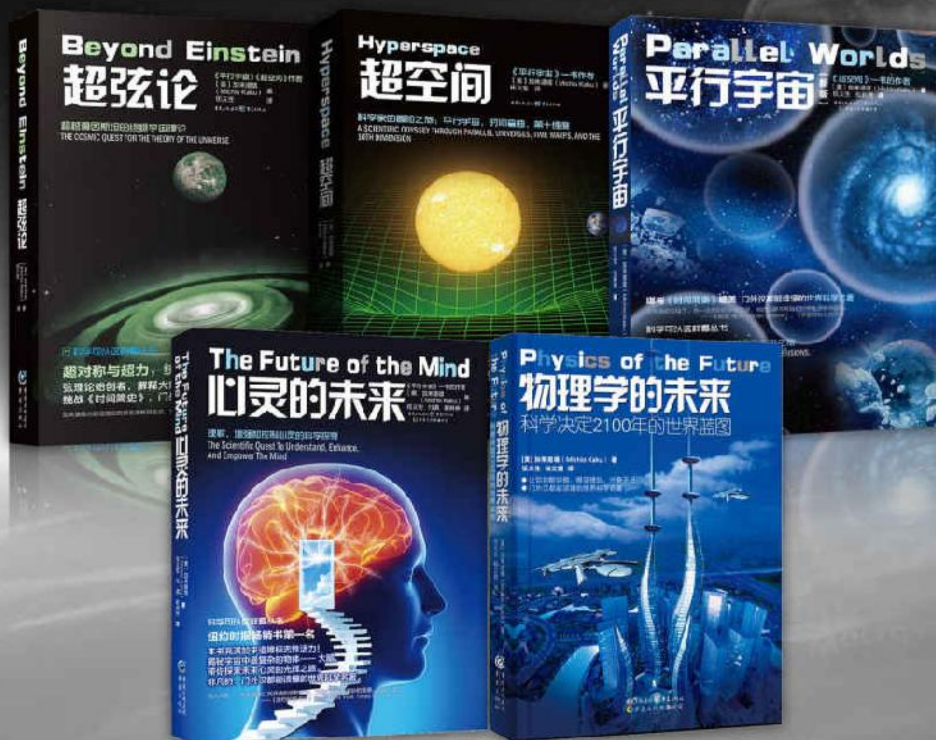
Micho Kaku

加来道雄

全五册



科普系列全五部

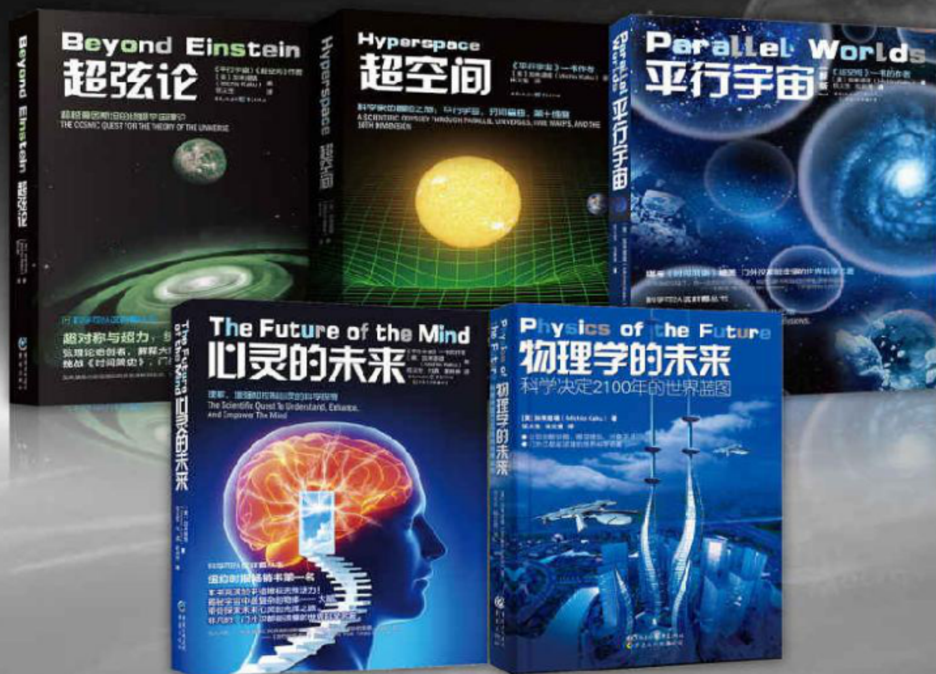
VISIT...

LANZAROTE Caliente.com

Micho Kaku

加来道雄

全五册



科普系列全五部

总目录

加来道雄宇宙三部曲
心灵的未来
物理学的未来


Micho Kaku
加来道雄
宇宙三部曲
Parallel Worlds
平行宇宙
Hyperspace
超空间
Beyond Einstein
超弦论
超对称与超力，统一相对论与量子理论
弦理论创始者，解释大爆炸之前的宇宙
挑战《时间简史》，门外汉都能读懂的世界科学名著
高维理论、弦理论
THE COSMIC QUEST FOR THE THEORY OF THE UNIVERSE

总目录

超弦论
超空间
平行宇宙：新版
返回总目录

Beyond Einstein

超弦论

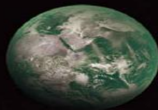
《平行宇宙》《超空间》作者

[美] 加来道雄
(Michio Kaku) 著
伍义生 译

重庆出版集团 重庆出版社

超越爱因斯坦的终极宇宙理论

THE COSMIC QUEST FOR THE THEORY OF THE UNIVERSE



科学可以这样看丛书

超对称与超力，统一相对论与量子理论

弦理论始创者，解释大爆炸之前的宇宙

挑战《时间简史》，门外汉都能读懂的世界科学名著

加来道雄对超弦理论的探索清晰且生动，像史蒂芬·霍金那样发人深省。

——《科克斯书评》(*Kirkus Reviews*)

超弦理论——终极宇宙理论？

超弦理论，统一相对论和量子论，统一四种基本力！

弦理论的创始人之一，畅销科普书《平行宇宙》作家，加来道雄教授为我们权威解读“超弦理论”。作者分析了超弦理论的诞生、定义以及它的重要意义。这项革命性的突破极可能将爱因斯坦的毕生梦想“万物理论”变为现实。

《超弦论》核心论点：

统一场论与量子力学的矛盾？牛顿的引力理论如何被超弦理论统一？

超弦理论解决了S矩阵理论和量子场论存在的对立。

超弦理论解决了GUT的烦恼，弦的存在解决了增殖夸克问题。

时间之初，温度极高，那时的宇宙超对称。

如果原始恒星足够大，大重力将导致中子相互挤压，最终挤压至一个无穷小的点——黑洞的权威解释。

超弦理论能计算广义相对论的量子修正，得出虫洞（爱因斯坦-罗森桥）解，实现维度旅行。

超弦理论预测宇宙灾难——如存在一个能量状态更低的宇宙，发生量子跃迁，所有已知物理定律将完全改变（物质总试图寻找能量更低的状态）。

超弦理论解释了大爆炸之前发生了什么——十维宇宙破裂为更低能级宇宙，四维宇宙（膨胀）和六维宇宙（卷曲）。

超弦理论结合量子力学解释了困扰爱因斯坦30年的难题——第五维度为何卷曲，而其他维度可延伸至无穷远（高维卷曲问题）。

超弦理论带领我们理解高维——高维生物可容易地可视化低维对象，低维生物只能看见高维对象的截面或阴影。

麦克斯韦将电和磁统一为电磁力，超弦理论实现了强力、弱力、电磁力、引力的全统一。

科学可以这样看丛书

BEYOND EINSTEIN

超弦论

终极宇宙理论

〔美〕加来道雄(Michio Kaku)
〔美〕詹妮弗·汤普森(Jennifer Thompson) 著
伍义生 译

解释爱因斯坦的困惑,高维卷曲
解释大爆炸之前的宇宙,时间之初
对称、简单、美丽,万物理论的第一候选

重庆出版集团 重庆出版社

Beyond Einstein：The Cosmic Quest for the Theory of the Universe
Copyright © 1995 by Michio Kaku＆Jennifer Trainer Thompson
Simplified Chinese edition copyright © 2020 by Chongqing Publishing ＆Media Co.，Ltd.
All rights reserved.

版贸核渝字（2018）第150号

图书在版编目（CIP）数据

超弦论/（美）加来道雄，（美）詹妮弗·汤普森著；伍义生译.—重庆：重庆出版社，2020.10

（科学可以这样看丛书/冯建华主编）

书名原文：BEYOND EINSTEIN

ISBN 978-7-229-13323-8

Ⅰ. ①超…　Ⅱ. ①加…②詹…③伍…　Ⅲ. ①超弦 - 理论物理学　Ⅳ. ①O572.2

中国版本图书馆CIP数据核字（2020）第155292号

超弦论
BEYOND EINSTEIN

〔美〕加来道雄（Michio　Kaku）〔美〕詹妮弗·汤普森（Jennifer Thompson）著

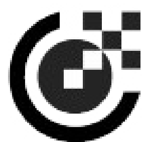
伍义生　译

责任编辑：连　果

审　　校：冯建华

责任校对：何建云

封面设计：博引传媒·何华成



重庆出版集团
重庆出版社　出版

重庆市南岸区南滨路162号1幢　邮政编码：400061 http://www.cqph.com

重庆出版社艺术设计有限公司制版

重庆长虹印务有限公司印刷

重庆出版集团图书发行有限公司发行

E-MAIL：fxchu@cqph.com　邮购电话：023-61520646

全国新华书店经销

开本：710mm×1000mm　1/16　印张：12.5　字数：175千

2020年10月第1版　2020年10月第1次印刷

ISBN 978-7-229-13323-8

如有印装质量问题，请向本集团图书发行有限公司调换：023-61520678

版权所有　侵权必究

目录

致谢
引言
第一部分　宇宙理论
1　超弦：万物理论
2　寻求统一
3　量子谜题
4　无穷大之谜
5　寻找顶夸克
第二部分　超对称和超弦
6　超弦理论的诞生
7　对称性：缺失的一个环节
8　超对称
第三部分　超出四维
9　大爆炸之前
10　暗物质的神秘
11　宇宙弦
12　通往另一个维度的旅程
13　回到未来
14　超越爱因斯坦
返回总目录

Advance Praise for *Beyond Einstein*
《超弦论》一书的发行评语

他知道如何使科学变得有趣。

——《费城询问报》（*The Philadelphia Inquirer*）

加来道雄对超弦理论原理的探索清晰且生动，像史蒂芬·霍金那样发人深省。

——《科克斯书评》（*Kirkus Reviews*）

加来道雄凭借自己清醒且耐心的风格，用诀窍将最空灵的想法付诸实践。

——《华尔街日报》（*The Wall Street Journal*）

他的科学观点超出了这个世界。

——《洛杉矶时报》（*Los Angeles Times*）

致谢

感谢布里吉塔·富尔曼（Brigita Fuhrmann）和谢丽尔·墨菲（Cheryl Murphy）为此书作图。感谢迈克尔·艾伯特（Michael Albert）、大卫·阿普林（David Aplin）、霍华德·张（Howard Chang）、丹尼尔·格林伯格（Daniel Greenberger）、阿瑟·米勒（Arthur I . Miller）、海因茨·佩吉（Heinz Pagels）和约翰·施瓦茨（John Schwarz）给我的慷慨帮助。

引言

加来道雄撰写本书的想法应追溯到20世纪50年代，那时，他还是一个在加利福尼亚成长的孩子，第一次听到统一场论。

加来道雄在小学4年级时，听到一位名为阿尔伯特·爱因斯坦的伟大科学家去世的消息。他知道，爱因斯坦一生中发现了很多伟大的东西使他获得了世界赞誉，但直至死前也仍未能完成他的伟大著作。加来道雄被这个故事迷住了。

这个孩子推理，如果爱因斯坦果真如此伟大，那么，他未完成的工作一定很棒——那一定是他杰出的职业生涯中的最高成就。

加来道雄出于好奇，梳理了帕洛阿尔托图书馆，试图发现更多与统一场论相关的信息，但他未找到任何书籍或者关于这个主题的文章。他找到了一些与量子力学相关的大学课本，但8岁的加来道雄几乎不能理解。此外，那些课本也并未提及统一场论。

于是，加来道雄找了他的老师，老师并未给他答案。后来，他遇到物理学家，当他问及爱因斯坦最后的这个理论时，对方也只是耸耸肩膀。多数物理学家认为，相信那个人能联合宇宙中的四种力还为时过早，或者是自以为是。

几年后，当加来道雄研究弦理论时（作为一种强相互作用理论提出），他也心存疑虑，认为对统一场论的探索也许只是一场疯狂的追逐。20世纪70年代，物理学家约翰·施瓦茨（John Schwarz）和乔尔·舍尔克（Joel Scherk）提出这种弦理论的一个复杂版本也许是传说中的爱因斯坦和其他物理学家未曾想到的统一场论的观点时，没有一位物理学家认真考虑。

最后，1984年，该理论似乎取得了戏剧性的突破，似乎解决了问题。就像施瓦茨和舍尔克早在几年前的预测，“超弦”似乎是统一场论最合适的（也是唯一的）候选理论。

尽管该理论的细节仍在研究中，但很明显这个发现将动摇物理世界。加来道雄和詹妮弗·汤普森已合著了《核能：两个方面》一书，双方的再次合作似乎很自然，并回答了30年前就让加来道雄着迷的问题——什么是统一场论？

我们共同努力撰写本书，作为对好奇外行的一个指南。我们想写一本涵盖“超弦革命”的书，其洞察力和范围通常只有内行人士才能提供，并以生动的和富有有益信息的方式呈现主题。我们认为，一个理论物理学家与一名作家的综合经验，将使这方面做得更好。

我们想提供物理学世界更全面的信息，在过去300年的科学背景下展示超弦理论。许多书论述了现代物理学的一个方面（无论是相对论、量子力学还是宇宙学），但却忽略了更大范围的物理学。《超弦论》则不同，我们关注的绝非孤立的研究领域，而是物理的整个范围，指出每个特定的理论在整个物理学的位置。统一场论与量子力学有什么关系？牛顿的引力理论如何用于超弦理论？你可以在《超弦论》一书找到这些问题的答案。

本书，我们强调了超弦理论如何给出一个物质的统一描述。我们重点关注亚原子粒子性质的多样性，如夸克、轻子、杨-米尔斯粒子、胶子……以及它们怎样被视为超弦的不同振动。加来道雄在另外一本作品《超空间》中还谈及空间和时间的性质，特别是平行宇宙、时间扭曲的可能性和第十维度。

我们为物理学的新突破而激动，我们希望《超弦论》既权威又有趣。简言之，希望它成为加来道雄年轻时就喜欢读的一本书。

加来道雄，纽约，纽约州
詹妮弗·汤普森，威廉斯敦，马萨诸塞州

Part Ⅰ　A THEORY OF THE UNIVERSE
第一部分　宇宙理论

1　超弦：万物理论

一个新的理论正动摇现代物理学的基础，它迅速地用美丽优雅且具有突破性的新数学颠覆我们珍视的和过时的宇宙观。尽管关于这个理论尚存在一些未解决的问题，但我们仍能感受到物理学家们的兴奋；世界各地的顶尖物理学家都宣称——我们正在见证一种新物理学的起源。

这个理论被称为“超弦”理论。过去10年，物理学的一系列的惊人突破促使它发展至高潮，它表明我们也许无限接近了统一场论：一个全面的联合宇宙中所有已知力的数学框架。

超弦理论的支持者甚至声称，“这个理论或许是终极‘宇宙理论’”。

尽管物理学家在对待新思想时通常很小心，但普林斯顿大学物理学家爱德华·威滕（Edward　Witten）却声称，超弦理论将在未来50年主导物理学世界。他最近说，“超弦理论是一个奇迹，一个贯穿始终的理论”。在一次物理会议上，他震惊了听众，他宣称我们或许正在见证一场像量子理论诞生那样伟大的物理学革命。他继续补充，“超弦理论可能引起我们对空间和时间的新理解，是自广义相对论以来物理学最戏剧性的理解。”

甚至，那些总是小心避免科学家断言被夸大的科学杂志也将超弦理论的诞生与圣杯的发现相比。科学杂志声称，“这场革命可能不亚于数学革命中实数到复数的过渡。”

该理论的两位创造者，加州理工学院的约翰·施瓦茨（John Schwarz）和伦敦玛丽女王学院的迈克尔·格林（Michael Green）有点武断地将其称为一种万物理论（TOE）。

这种兴奋的核心是，他们认识到超弦理论可以提供一个全面的理论以解释所有已知的物理现象——从星系的运动到原子核内的动力学。该理论甚至对宇宙的起源、时间的开始，多维宇宙的存在做出了惊人的预测。

对物理学家来说，这是个令人陶醉的概念——几千年来仔细研究且痛苦地积累起来的我们物质世界的海量信息终于能被总结在一个理论中。

例如，德国物理学家编纂了一本百科全书《物理手册》，这是一份详尽的工作，总结了世界物理知识。这个手册，实际占据了图书馆的整个书架，代表了科学学习的顶峰。如果超弦理论为真，原则上，这本百科全书包含的全部信息均可由一个单一方程衍生而出。

物理学家对超弦理论特别兴奋，因为它迫使我们改变对物质性质的理解。自希腊化时代以来，科学家们一直认为宇宙是微小的点粒子组成的。德谟克利特创造了原子这个词来描述这些终极的、不可摧毁的物质单位。

然而，超弦理论假设，自然界的最终的建筑块皆由微小的振动弦组成。如果它是正确的，意味着所有物质中的质子和中子，从我们的身体到最远的恒星，皆由弦组成。没人见过这些弦，因为它们太小以至于我们无法观察（它们大约是质子的千亿分之一）。事实上，我们的测量设备太粗糙，看不到这些细小的弦，我们的世界似乎只能由点状粒子构成。

起初，用弦代替点粒子这个概念能简单地解释粒子的多样性和自然界中由粒子交换所产生的力。后来人们发现，超弦理论既全面又优雅，它能简单解释宇宙中为何会有数十亿种不同类型的粒子和物质且具有惊人的不同特征。

超弦理论可以产生一个连贯的、包罗万象的大自然的图片，类似于用一根小提琴弦可“联合”所有的音乐音调和和声规则。历史上，音乐定律是经过数千年的不同乐音的反复研究制定而出。今天，这些多样性的规则能很容易地从一张图片中推导出来，即一根弦可与不同频率共振，每一个不同频率的共振都能产生音阶中独立的音调。振动弦可产生不同的音调，更重要的是，单一振动弦的概念能解释和谐定律。

因此，小提琴弦的物理知识给了我们一个音乐音调的综合理论，并允许我们预测新的和声和和弦。同样，在超弦理论中，人们在自然界中发现的基本力和各种粒子其实只是振动弦的不同模式。例如，重力交互作用是由环形弦的最低振动模式引起的，此弦的较高激发可产生不同形式的物质。从超弦理论的角度看，没有任何力或粒子比其他任何力或粒子更重要。全部粒子都只是振动弦的不同的振动响应。因此，超弦理论作为一个单一的框架，可以在原则上解释为何宇宙中有如此丰富的粒子和原子且具有多样性。

对古代的问题“物质是什么？”的答案变得简单——物质是由粒子组成，粒子是弦的不同的振动模式，如G调或F调。由弦产生的音乐就是物质本身。

世界物理学家对这一新理论如此兴奋的根本原因是，它似乎解决了本世纪最重要的科学问题——如何将自然的四种力结合为一个综合理论。这场巨变的中心是，认识统治我们宇宙的四种基本力实际上是由超

弦控制的一个单一的统一力的不同表现形式。



弦论四种力

力是任何能移动物体的东西。例如，磁性是一种力，因为它可使指南针指针旋转。电流是一种力，因为它可让我们的头发竖起。在过去的2000年，我们逐渐意识到宇宙存在四种基本力：重力、电磁力（光）以及两种类型的核力，弱力和强力。（古人认识到的其他力，如火和风，可用这四种基本力解释。）然而，我们宇宙中最大的科学难题之一是，这四种力为何如此不同。过去的50年，物理学家们一直在努力解决如何将它们联合成一幅连贯的画面。

为了帮助你欣赏超弦理论给物理学家们带来的兴奋，我们需要一分钟时间对这些基本力作简单描述，以显示它们的不同。

重力是将太阳系结合在一起的吸引力，它能保持地球和其他行星在自己的轨道上运动并阻止恒星爆炸。在我们的宇宙中，重力是主导力，可延伸数万亿英里，直至最远的恒星。使苹果落地以及保持我们的脚停在地板上的力与引导宇宙中星系运动的力为同样的力。

电磁力将原子固定在一起，它使带负电荷的电子围绕带正电荷的原子核的轨道运行。因为电磁力决定了电子轨道的结构，它也支配着化学定律。

在地球上，电磁力通常很强大，甚至超过重力。例如，通过摩擦梳子或许能将桌子上的纸片吸起。电磁力抵消了纸片向下的重力，在1×10^{-11}英寸（大致相当于原子核的大小）范围内支配其他的力。

（也许，人们比较熟悉的电磁力的一种形式是光。当原子受到干扰，原子核周围电子的运动变得不规则，电子发射光和其他形式的辐射。以X射线、雷达、微波或光的形式发射的电磁辐射是最纯粹的电磁辐射形式。无线电和电视只是电磁力的不同形式。）

在原子核内，弱（核）力和强（核）力超过了电磁力。例如，强力负责将原子核中的质子和中子结合在一起。在任何原子核中，所有质子都带正电。只是质子在一起，它们间的排斥（电）力会将原子核分裂。因此，强力克服了质子间的排斥力。粗略地说，只有一些元素能在强力（它倾向于将原子核固定在一起）和排斥（电）力（它倾向于撕裂原子

核）间保持微妙的平衡，这有助于解释为何自然界只有大约100种已知元素。原子核的质子数超过100个，甚至，强力也难以遏制它们之间的排斥（电）力。

当强大的核力被释放出来，效果可能是灾难性的。例如，当原子弹中的铀核被故意分开，锁在原子核里的巨大能量将以核爆的形式被释放。一枚核弹每磅释放的能量超过炸药中含有能量的100万倍。事实上，强力产生的能量比电磁力控制的化学爆炸的能量大太多。

强力还对恒星发光的原因作了解释。星星是一个巨大的释放核原子的核熔炉。例如，太阳的能量是通过燃烧煤而非核燃料被创造，那么，只会有很小部分的太阳光被产生。太阳会迅速发出微弱的嘶嘶爆裂声，变成煤渣。没有阳光，地球会变冷，地球上的生命终将死亡。因此，没有强力，星星不会发光，不会有太阳，地球上也不会有生命。

如果强力是原子核内部唯一起作用的力，那么，大多数原子核将非常稳定。然而，我们从经验中知道，某些原子核（如铀，有92个质子）的质量巨大，以至于它们会自动分裂，释放出更小的碎块和碎片，我们将这个物理过程称为放射。在这些元素中，原子核是不稳定的和可解体的。因此，必然存在一个更弱的力在起作用，一个控制放射性的力，负责分解非常重的原子核——弱力。

弱力是短暂的且转瞬即逝，我们在生活中并未直接体验过它。然而，我们感受到了它的间接影响。当盖革计数器放在一块铀的旁边，我们听到的测量原子核放射性的咔嗒声是由弱力造成的。弱力释放的能量也可用于产生热量。例如，地球内部的巨大的热量，部分是由地心深处的放射性元素蜕变产生的。反过来，如果这个巨大的热量到达地球表面，可能会引起火山爆发。类似地，核电站核心释放的热量能产生足够照亮一座城市的电力，这也是由弱力（以及强力）产生的。

没有这四种力，生命将不可想象：我们身体里的原子会解体，太阳会爆裂，点燃恒星和星系的原子之火将被扑灭。因此，力的概念是一个古老而熟悉的概念，至少可追溯到艾萨克·牛顿时代。新的想法是，这些力或许只是一种力的不同表现。

日常经验表明，一个物体可以表现为各种形式。将一杯水加热，直到沸腾变为蒸汽。水，通常是液体，可以转变为蒸汽（一种气体），其性质已不同于液体，但它仍然是水。将一杯水冷冻成冰，通过撤出热，我们可以将这种液体变成固体，但它仍然是水。同样的物质，仅是在某些情况下变成了一种新的形式。

另一个更引人注目的例子是，岩石可以转变成光。在特定条件下，一块岩石可以变成巨大的能量（如果这块岩石是铀，能量可表现为原子弹）。因此，物质本身可以表现为两种形式——作为物质物体（铀）或作为能量（辐射）。

科学家们在过去的100年意识到，电和磁是同一个力的不同表现。在过去的25年，科学家才明白，弱力也能被视为同一个力的不同表现。1979年的诺贝尔奖授予了三位物理学家，史蒂文·温伯格（Steven Weinberg）、谢尔登·格拉肖（Sheldon Glashow）、阿卜杜勒·萨拉姆（Abdus Salam），他们展示了如何将弱力和电磁力联合成一种力，称“电-弱”力。同样，物理学家现在相信另一种理论，GUT（大统一理论）可以将电弱力与强相互作用联合起来。

不过，物理学家们从未对重力有任何办法。事实上，重力与其他力具有太多的不同，以至于在过去的60年里，科学家们几乎绝望——无法将它和其他力联合起来。尽管量子力学惊人地结合了另外三种力，但它应用于重力时失败了。



丢失的连接

20世纪，诞生了两个凌驾于其他理论之上的伟大理论——量子力学（解释三种亚原子力上取得了巨大成功）；爱因斯坦的引力理论，也称广义相对论。从某种意义上看，这两种理论相互对立——量子力学致力于非常小的世界，原子、分子、质子和中子；相对论控制非常大尺度的物理，宇宙尺度上星星和星系的物理。

对物理学家来说，原则上，我们可以从这两种理论得出人类对物理宇宙的知识总和。但本世纪最大的难题之一是，这两种理论是如此的不相容。事实上，在本世纪，世界上最伟大的思想家将量子力学和广义相对论结合起来的所有尝试全部失败。阿尔伯特·爱因斯坦在他生命的最后30年一直寻求包含重力和光的统一理论，依然以失败告终。

这两个理论都在自己特定的领域里取得了惊人的成功。例如，量子力学在解释原子的秘密时没有对手。量子力学揭开了核物理的秘密，释放了氢弹的能量，解释了从晶体管到激光器每个器件的工作原理。事实上，这个理论非常强，如果我们有足够的时间，我们可以通过计算机预测化学元素的所有性质，而不必进入实验室。然而，尽管量子力学在解释原子世界时取得了巨大成功，但它在试图描述重力时却遭遇了巨大失败。

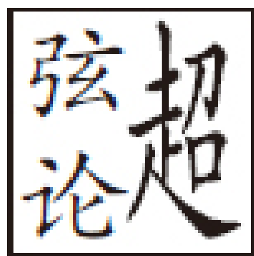
另一方面，广义相对论在它自己的领域：星系的宇宙尺度取得了巨大成功。黑洞，物理学家认为，这是一颗巨大的垂死恒星的终极状态，

广义相对论对此作出了众所周知的预测。广义相对论还预测，宇宙最初是在大爆炸中开始的，它使星系以巨大的速度彼此分离。然而，广义相对论却完全不能解释原子和分子的行为。

因此，物理学家面临着两种截然不同的理论。每种理论都采用了一套不同的数学，且都在自己的领域内做出了惊人的精确预测。同时，它们又非常独立且截然不同。

这好比大自然创造了一个有两只手的人，右手看上去与左手完全不同，功能也不同且独立。对那些坚信自然最终必定简单优雅的物理学家来说，这是一个谜，他们无法接受大自然会以如此怪异的方式运作。

这正是超弦要解决的问题，它能解决这两个伟大理论的结合问题。事实上，量子力学和相对论，是使超弦理论成立的必需。超弦是第一个也是唯一能使量子引力理论有意义的数学框架。这就好像科学家在过去60年里一直试图组装宇宙拼图，突然注意到自己忽视了一个小片——超弦。



比科幻小说还奇怪

通常，科学家是保守的。他们接受新理论的速度较慢，尤其是那些做出的预测有些奇怪的理论。然而，超弦理论做出了任何理论从未提出过的最疯狂的预测。任何有能力将如此多的物理本质浓缩成一个方程的理论都会产生深远的物理后果，超弦理论也不例外。

［1958年，伟大的量子物理学家尼尔斯·玻尔（Niels Bohr）参加了一次物理学家沃尔夫冈·保利（Wolfgang Pauli）所做的演讲。讲演结束时，听众极不赞同，玻尔说，“我们一致认为，你的理论太疯狂。我们之间的分歧在于，它是否能达到足够疯狂。”超弦理论，鉴于它奇异的预测，一定是“够疯狂的”。］

尽管这些预测将在接下来的章节中详细讨论，我仍在这里做了简单提及，让大家看看超弦理论使现实物理看起来似乎比科幻小说还奇怪意味着什么。



多维宇宙

20世纪20年代，爱因斯坦的广义相对论提供了我们的宇宙是如何开始的最好的解释。根据爱因斯坦的理论，宇宙诞生于大约100亿—200亿年前的宇宙大爆炸。宇宙中的所有物质，包括恒星、星系和行星，初期集中在一个超致密的球中。后来，这个球剧烈爆炸，产生了我们当前正在膨胀的宇宙。这个理论与今天人们观察到的事实吻合——当前，所有恒星和星系都在向着离开地球的方向快速远离（由大爆炸的力量推动）。

然而，爱因斯坦的理论存在许多漏洞——为什么宇宙会发生爆炸？大爆炸之前是什么？理论科学家早年就意识到大爆炸理论的不完全性，因为它并未解释大爆炸本身的起源和性质。

难以置信，超弦理论预测了大爆炸以前发生的事情。超弦理论认为，宇宙最初有十个维度，而不是四个维度（三个空间维度和一个时间维度）。之后，这个宇宙在十个维度上非常不稳定，它“破裂”成两块，一个小的四维宇宙从其余部分宇宙剥离开来。类似地，我们可以想象一个肥皂泡沫在慢慢地振动——如果振动足够强，肥皂泡会变得不稳定，分裂成两个或更多更小的肥皂泡。再想象一下，最初的肥皂泡代表十维宇宙，分裂出的较小的肥皂泡代表我们的宇宙。

如果这个理论为真，意味着一定存在一个与我们的宇宙共存的“姐妹宇宙”。这也意味着，我们宇宙之初的分裂是多么剧烈，以至于它创造了我们所知的大爆炸。因此，超弦理论解释，大爆炸是“十维宇宙分裂成两片”这个剧烈转变的副产品。

你不必担心，某天，当你沿着街道走路时会“落入”另一个其他维度的宇宙，仿佛科幻小说的描述。根据超弦理论的说法，另一个多维宇宙已缩小到这样一个程度——一个人类永远无法到达的难以置信的小尺寸（大约原子核大小的千亿分之一）。因此，更高的维度是什么样子，成为了一个学术问题。从这个意义上看，在更高维度之间旅行的前景只有在宇宙起源时才有可能——那时的宇宙是十维的，故而，维度之间的旅行在物理上具有可能。



暗物质

除了多维空间，科幻作家们还喜欢“暗物质”为自己的小说添油加醋，这是一种神秘的物质形式，与宇宙中任何物质的性质皆不同。暗物质是过去预测的，但无论科学家将他们的望远镜和仪器指向天空中的任何地方，他们仍然只发现了大约100种地球上存在的人们熟悉的那些化学元素。甚至，宇宙最远的恒星也是由普通的氢、氦、氧、碳等元素组成。一方面，这让人放心——我们知道，无论我们在外太空旅行到了哪儿，火箭船只会遇到在地球上发现过的化学元素；另一方面，知道外层空间不会有惊喜，这让人失望。

超弦理论可能会改变这一点，因为从一个十维宇宙分裂成更小的宇宙的这个过程或许创造了一种新的物质形式。这种暗物质像所有的其他物质那样有重量，只是不可见（因此得名）。暗物质没有味道，没有气味，甚至最敏感的仪器也检测不到它的存在。如果你能将暗物质抓在手中，你或许会感到它很重，否则它将完全不能被觉察。事实上，测定重量是探测暗物质的唯一方法，它与其他形式的物质没有其他已知的相互作用。

因此，暗物质也可能有助于解释宇宙的谜题之一。如果宇宙中有足够的物质，那么，星系间的引力应该会减缓它的膨胀，甚至逆转导致宇宙收缩。事实上，宇宙是否有足够的物质会导致这种逆转并最终收缩，数据存在冲突——天文学家试图计算可见宇宙中物质的总量，他们发现恒星和星系缺乏足够的物质导致宇宙收缩；其他一些计算（基于计算恒星的红移和光度）则认为，宇宙存在收缩的可能，这也被称为“失踪质量”问题。

如果超弦理论是正确的，那么，它就能解释为什么天文学家在望远镜和仪器中看不到这种形式的物质。此外，如果暗物质理论是正确的，那么，暗物质可能遍及宇宙。（确有可能，暗物质比普通物质更多。）在这方面，超弦理论不仅澄清了大爆炸前发生的事情，还预测了宇宙死亡时可能发生的事情。



超级怀疑论者

当然，任何提出如此大胆预测的理论——用弦代替点粒子以及用十维宇宙代替四维宇宙——都会招致怀疑。虽然超弦理论打开了一幅甚至让数学家都震惊的数学远景，并使全世界的物理学家感到兴奋，但人们或许需要几年甚至几十年才能建造足够强大的机器对这一理论作决定性地检验。同时，在无可辩驳的实验证据出现之前，怀疑论者将继续对超弦理论持怀疑态度，尽管超弦理论如此美丽、优雅，且独一无二。

怀疑论者，哈佛物理学家谢尔登·格拉肖（Sheldon Glashow）曾抱怨："数十个最优秀和最聪明的人经过'多年的紧张努力'仍未产生一个可以验证的预测，所以，我们似乎不应期待能很快取得结果。"世界著名的荷兰物理学家杰拉德·特·胡夫特（Gerard't Hooft）在芝加哥郊外的阿尔贡国家实验室发表讲演（他走得更远），他将大张旗鼓炫耀超弦理论比作美国的电视商业广告，"全是广告，内容非常少。"

的确，正如普林斯顿大学物理学家弗里曼·戴森（Freeman Dyson）曾警告的那样，就通常所说的寻找统一描述四种力的单一数学模型而言，"物理学领域里充斥着统一理论的尸体。"

但超弦理论的捍卫者指出，尽管能证明这一理论的决定性的实验或许还需要等待几年时间，但今天尚无实验与此理论矛盾。

事实上，这一理论没有对手：目前，没有其他方法可将量子理论和相对论结合起来。一些物理学家对寻找统一理论的新尝试持怀疑态度，因为过去有很多尝试遭受了失败，但这些尝试失败正是因为它们无法将引力和量子理论结合起来。超弦理论似乎解决了这个问题，它没有患上置它的祖先于死地的疾病。鉴于此，超弦理论是迄今为止最流行的能真正统一所有力的候选理论。



历史上最大的科学机器

物理世界正接近对弱力、电磁力、强力，可能还有引力相互作用进行统一的描述，这在某些方面促进了需要创造强大机器检验这些理论的动力，为证明这些理论不是无聊的猜测而是国际社会强烈关注的焦点。

20世纪80年代的大部分时间，美国政府致力于花费数十亿美元建造一个巨大的“原子粉碎机”或粒子加速器，以深入探测原子核。这台机器被称为超导超级对撞机（SSC），是史上最大的科学机器。然而，该项目在1993年遭到取消。

超导超级对撞机的主要任务是寻找新的相互作用以及测试统一理论，比如电-弱力理论所做的预测，可能会探测GUT和超弦理论的边缘。这台强大的机器会专注于寻找传说中的统一的各个方面。超导超级对撞机会消耗掉足以为一个大都市提供动力的能源，将粒子加速到万亿电子伏特以粉碎其他的亚原子粒子。物理学家们希望，被深锁在原子核内的是验证这些理论某些方面所必需的关键数据。

超导超级对撞机将主导实验高能物理学进入下一个世纪。然而，为了全面测试GUT理论的结果，超导超级对撞机仍然不够强大。“GUT理论把强力和电-弱力结合起来”或者“超弦理论将所有已知的力量结合起来”，这两种预测都需要比超导超级对撞机大得多的机器。事实上，超导超级对撞机或许已能探测到这些理论的外围，帮助我们间接验证或否定这些理论的各种预测。

在实验上，由于探测GUT理论和超弦理论所需的能量太巨大，终极验证可能需要上升至宇宙学领域（对宇宙起源的研究）。事实上，这种统一的能量规模只有在宇宙起始时才能发生。从这个意义上说，解决统一场论的难题可能会很好地解决宇宙起源之谜。

这里，似乎我们已走到了故事的前面。一个人在建造一个房子之前，必须先打下地基。物理方面也是如此，在我们详细探索超弦理论如何统一所有的力之前，我们必须先回答一些基本问题——什么是相对论？什么是物质？统一的概念从何而来？这些问题将是以下两章的重点。

2　寻求统一

历史上，科学的发展是不连贯的。例如，艾萨克·牛顿（Isaac Newton）的伟大贡献是用他的引力理论计算行星的运动。与沃纳·海森堡（Werner Heisenberg）和欧文·薛定谔（Erwin Schrodinger）的工作有很大不同，他们用量子力学揭示原子的工作原理。此外，量子力学所需的数学和原理似乎完全不同于描述空间扭曲、黑洞和大爆炸的爱因斯坦的广义相对论。

然而，随着统一场论的发展，是时候组装这些分离的零件并整体查看了，而不仅是追求部分的总和。虽然寻求统一是最近得出的，但大多数开创性工作都始于过去20年里的工作。事后看来，用连贯的统一的概念重新分析科学上的伟大发现将成为可能。

由于统一场论产生的动力科学史正在慢慢重写——包括艾萨克·牛顿实际上发明物理学和他发现万有引力定律，几千年人类历史发展中的最重要的科学发展将变得更易解释。



天和地的统一

牛顿生活在17世纪末，当时的教会和学者相信两种截然不同的法律。管理天堂的法律是完美和谐的，而地球上的凡人却生活在粗糙和粗俗的物理定律之下。

任何坚持认为月球是非完美的、抛光的球体，或者认为地球围绕太阳旋转的人都可以被教会处死。乔治·布鲁诺（Giordano Bruno）在1600年被绑在火刑柱上烧死，只因他推测太阳只是另一颗恒星。他的结论是，“有无数个太阳，还有无限多的地球围绕这些太阳旋转……”几十年后，伟大的天文学家和物理学家伽利略·加利利不得不在死亡的痛苦中放弃自己的地球围绕太阳转动的异端言论。（即使在审判中，他被迫否定自己的科学发现，他仍低声嘀咕道：“但是，地球确实在转动！”）

所有这一切从艾萨克·牛顿开始改变，那时，他是剑桥大学一个23岁的学生。可怕的黑死病席卷了那片土地，欧洲的多数大学和其他机构关闭，他被送回家。牛顿有了很多的时间，他观察物体落到地上的运动，一瞬间，他构思了控制所有下落物体运动路径的著名理论。

牛顿是通过自问革命性的问题得出自己理论的——月亮是否也会下落？

根据教堂的说法，月亮留在天上是因为它遵守地球法律无法达到的天上法律——地球的法律是强迫物体落地，天上法律则不是。牛顿的革命性观测是——将万有引力定律扩展到天堂本身。这个异端想法的直接结论是——月球是地球的一个卫星，不是想象中的天球的运动必须保持在天空中，而是受到了引力理论的控制。

牛顿想，也许月亮是不断下落的，与石块落到地球上受着相同的定律支配，只是因为地球的下降曲率抵消了月亮的下降运动，所以月亮不会撞向地球。在他的代表作《原理》中，牛顿写下了控制卫星绕地球运行和地球与行星围绕太阳运行的定律。

牛顿画了一幅简单的图画，解释了下落的月球是地球的一个卫星的想法。想象一下，站在高高的山顶并投掷一块石头，石头最终必定会落到地上。你扔出石头的速度越快，石头落地前飞行的距离就越远。事实上，牛顿认为，如果石头被扔得足够快，它会绕地球旋转一圈后击中你的背部。就像环绕地球的岩石一样，月球只是一颗不断下落的卫星。

这幅由牛顿构思的精美图片超前了发射人造卫星3个世纪。今天，惊人的成就——太空探测器降落在火星以及飞行超越天王星和海王星——必须归功于牛顿在17世纪后期写下的定律。

在一系列迅速且深入的研究中，牛顿发现自己的方程原则上允许他粗略估算地球到月球的距离以及地球到太阳的距离。当教会仍在教导地球静止在天上时，艾萨克·牛顿计算了太阳系的基本尺寸。

回想起来，我们可以认为牛顿发现的引力定律是科学史上的第一个“统一”——统一了天与地的法则。在地球上任何两个物体之间起作用的重力，也将人类的命运与星星联系起来。在牛顿的发现之后，整个太阳系的运动几乎能得到完全准确的计算。

此外，牛顿认为，地球上的岩石能绕地球运行而不需要天体，他能用图形的方式说明自己理论的基本原则。有趣的是，所有的科学领域的重大突破，尤其是显示力统一的突破，都能用图形的方式显示。尽管数学或许晦涩难懂且单调乏味，但统一的本质总能非常简单地用图形的方式表示。



麦克斯韦的发现

牛顿之后，我们对统一的理解的下一次重大飞跃是电和磁的统一，这发生在200年后的19世纪中期，美国内战时期。在那场毁灭性的战争中，美国陷入了混乱，大西洋两岸的科学世界也处于一个非常动荡的时期。欧洲正进行的实验表明了一个明白无误的事实，在某些情况下，磁性可以变成一种电场，反之亦然。

几个世纪以来，人们一直认为，磁力是控制海上领航员指南针的力，电力是产生闪电和走过地毯后触摸门把手时的触电的力，磁力和电力是完全不同的两种力。然而，到了19世纪中期，这种僵硬的分离分崩离析。科学家渐渐意识到，振动电场可以产生磁性，反之亦然。

这种效果很容易被证明。例如，简单地将条形磁铁推入线圈，线圈里会产生一个小的电流——变化的磁场产生了电场。同样，我们可以将这种局面反转，使电流流过该线圈从而在线圈周围产生磁场——变化的电场产生了磁场。

改变电场可以产生磁场和改变磁场可以产生电场的同一原理是使我们家庭有电的原因。在水力发电厂，水从大坝上落下至旋转连接到涡轮上的大轮。涡轮机里的大线圈在磁场中快速旋转，线圈在磁场中旋转运动时产生了电流。此后，这些电流通过几百英里长的电线进入了我们的家庭。因此，由大坝产生的变化的磁场被转换成电场，通过墙壁插座给家庭供电。

然而，在1860年，人们对这种效应还不能很好地理解。一个无人知晓的剑桥大学30岁的苏格兰物理学家詹姆斯·克拉克·麦克斯韦（James Clerk Maxwell）挑战了当时的主流思想，声称电和磁不是截然不同的力，而是同一枚硬币的不同的两面。事实上，他做出了那个世纪最惊人的发现，他发现这个观察能解开最神秘现象的秘密——光本身的秘密。

麦克斯韦知道，电场和磁场可以被可视化为渗透所有空间的“力场”。这些力场可以用从电荷发出的平滑的无限排列的“箭头”表示。例如，条形磁铁产生的力场像蜘蛛网一样伸入太空，并能诱捕附近的金属物体。

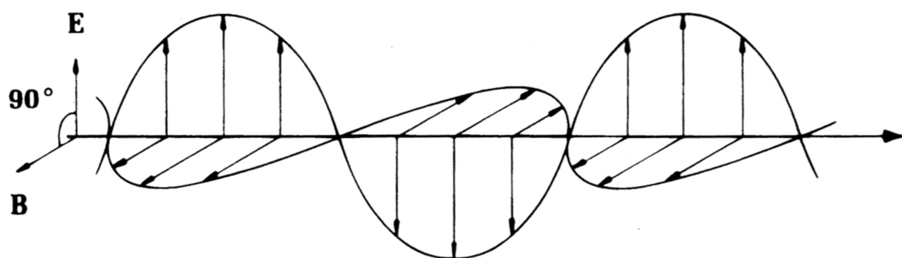
然而，麦克斯韦更进了一步。他认为，电场和磁场可以一起精确同步地振动，产生波，能在没有任何帮助的情况下独自旅行于太空。

人们可以想象以下场景：如果振动磁场产生一个电场，电场又振动产生另一个磁场，磁场振动再产生另一个电场，会发生什么？这样一个无限系列的振动电场和磁场本身运动，不是很像一个波浪吗？

如同牛顿引力定律，这个想法的实质简单且形象。例如，假设有一长串多米诺骨牌，打翻第一张多米诺骨牌会引发多米诺骨牌落下的浪潮。如果，这一行多米诺骨牌由两种类型组成，黑色和白色，带颜色的多米诺骨牌沿着这条线交替出现。此时，我们去掉黑色多米诺骨牌，只留下白色的，这个波将不能实现旅行。事实上，我们既需要白色多米诺骨牌，也需要黑色多米诺骨牌——白色和黑色多米诺骨牌相互作用，每一张都在翻转下一张，使多米诺骨牌落下的浪潮成为可能。

类似地，麦克斯韦发现，振动磁场和电场的相互作用产生了波浪。他发现，只靠电场或磁场的其中之一无法产生这种像波浪一样的运动，类似于仅有黑色或白色多米诺骨牌的情况。只有电场和磁场之间微妙的相互作用才能产生这个波。

然而，对大多数物理学家来说，这个想法似乎是荒谬的，因为没有“以太”帮助这些波传导。这些磁场是“脱离实体”的，没有传导介质，它们无法移动。



根据麦克斯韦的理论，光是由一致振荡的电场（E）和磁场（B）组成的。电场垂直振动，磁场水平振动。

然而，麦克斯韦并不气馁。他用自己的方程计算，他推导出了这个波的速度。令他吃惊的是，他发现这就是光速。不可避免的结论是，光被揭示出，只有一连串的电场变成了磁场。偶然地，麦克斯韦发现，他的方程解开了光作为电磁波的性质。因此，他是第一个发现了一个真正统一场论的人。

这是个了不起的发现，在重要性上可与牛顿对万有引力定律的发现并列。1889年，麦克斯韦死后10年，海因里希·赫兹（Heinrich Hertz）通过实验证实了麦克斯韦的理论。在一次戏剧性的演示中，赫兹制造了一个电火花，并能产生一个在很远距离上可被探测的电磁波。正如麦克斯韦的预言，赫兹证明了这些自己传播的波，不需要“以太”。最终，赫兹的粗略实验发展为了我们今天称之为“无线电”的庞大产业。

由于麦克斯韦的开创性工作，从那时起，光被称为电磁力，是由电场和磁场迅速相互转换的振动产生。雷达、紫外线、红外线、无线电、

微波、电视和X射线无非是电磁波采取的不同形式。（例如，当你收听自己喜欢的电台时，表盘上的指针指示99.5，表示无线电波包含的电场和磁场正以每秒9950万次的速度相互转化。）

不幸的是，麦克斯韦在提出这个理论后不久就去世了，他没能活到足够长的时间去深度探究自己创作的独特处。然而，敏锐的物理学家在19世纪60年代就注意到了麦克斯韦方程必然需要奇异的距离和时间的扭曲。他的方程式与牛顿的理论因描述空间和时间的方式不同而完全不同。对牛顿来说，时间脉冲在整个宇宙中均匀跳动，地球上的时钟和月亮上的时钟以同样的速度跳动。麦克斯韦方程预测，在某些情况下，时钟可能会变慢。

科学家们没有意识到，麦克斯韦的理论预测了放置在移动火箭船上的时钟应该比放置在地球上的时钟慢。起初，这听起来非常荒谬。毕竟，时间流逝的一致性是牛顿系统的基础之一。但是，麦克斯韦方程需要这种奇怪的时间扭曲。

半个世纪以来，科学家们忽略了麦克斯韦方程的这个奇怪的预测。直至1905年，一个物理学家终于明白且接受了麦克斯韦理论的这种深刻的时空扭曲。这个物理学家就是阿尔伯特·爱因斯坦（Albert Einstein），他创造的狭义相对论改变了人类历史的进程。



失业的革命者

爱因斯坦在他的一生中提出了许多革命性的想法，改变了我们看待宇宙的方式。我们总结一下，可将他的理论分成三大类：狭义相对论、广义相对论和统一场论（未完成的最伟大的科学）。

1905年，26岁，他提出了自己的第一个伟大理论——狭义相对论。对那些对科学界产生如此大的影响的人来说，他的出身是卑微的。

1900年，这位未来世界著名的物理学家发现自己没有工作，运气非常糟糕。当更知名的物理学家在著名大学讲课时，爱因斯坦申请担任教学职位遭到了各个大学的拒绝。他刚完成了自己在苏黎世理工学院的学业，靠兼职辅导挣扎着生存。他的父亲担心儿子的抑郁，写道：“我的儿子为目前的失业状况而沮丧。他越来越觉得自己的事业偏离了轨道……他认为自己是这个社会的负担，产生了很大压力。”

1902年，在一个朋友的推荐下，他获得了瑞士伯尔尼专利局的一份卑微的工作，以支持自己妻子和孩子的家庭生活。尽管爱因斯坦资质过高，才能明显高于这份工作的要求，但事后看来，这似乎是上天最好的安排。

首先，专利局是一个安静的避难所，给了爱因斯坦太多时间思考，以研究自己的时间和空间理论。其次，专利局的工作要求他在发明者的通常措辞模糊的建议中提出关键想法。这教会了他如同之前的牛顿和麦克斯韦一样，如何从实物图片的角度思考，准确无误地瞄准使理论发挥作用的基本思想。

在专利局，爱因斯坦回到了一个在孩童时就困扰自己的问题：如果自己能以光速在一束光线的旁边奔跑，这束光线看上去会是什么样子？他猜测，光波会在时间上冻结，这样，人们就能实际上看到电场和磁场的驻波。

但当爱因斯坦在理工学院学习麦克斯韦方程时，他惊讶地发现，这些方程不接受驻波解。事实上，麦克斯韦方程预测光必须以相同的速度传播，不管你如何努力追赶它。即使一个人以巨大的速度前行，光束仍将以同样的速度领先于他——光波永远不会在静止时被看见。

起初，这似乎非常简单。根据麦克斯韦方程式，地球上的科学家和在火箭中超速行驶的科学家测量的光束的速度是相同的。也许，麦克斯韦本人在19世纪60年代写这个方程时就意识到了这点。然而，只有爱因斯坦明白这个事实的特殊重要性，因为他意识到这意味着我们必须改变我们的时空观念。在1905年，爱因斯坦终于解决了麦克斯韦光理论的难题。在这个过程中，他颠覆了过去的历经几千年的时空观念。

为了便于论证，假设光速为每小时101英里，每小时行驶100英里的火车与光束并排移动。事实上，在这列火车上的科学家应能测量出光速为每小时1英里（每小时101英里减去每小时100英里）。如此，科学家应能从容地仔细研究光的内部结构。

然而，根据麦克斯韦方程，以每小时100英里的速度前行的科学家测量的光速为每小时101英里，而不是每小时1英里。这怎么可能？这列火车上的科学家怎么会愚蠢地认为，光束能达到这样的速度？

爱因斯坦对这个问题给出的解决方案是古怪的，但却是正确的：他假设火车上的时钟比地面上的时钟更慢，且火车上的任何测量尺的长度都缩小了。

这意味着，这列火车上的科学家的大脑相对于地面上的科学家的大脑会变慢。从地面上某人的角度看，这列火车上的科学家测量的光束速度应该为每小时1英里，但实际上，火车上的科学家测量的光束速度为每小时101英里。因为，火车上的科学家的大脑和此列车里的一切都慢了下来。

相对论的结果——超速的物体时间必须放慢，距离必须缩短——似乎违反了常识，这是因为我们通常处理的都是远低于光速的情况。人每小时可以行走大约5英里——比光速慢得多。所以，人们出于各种目的，根据直觉会认为光速是无限的。光，可以在1秒时间内绕地球7次，从我们的观点来看，几乎可算为瞬间移动。

现在，想象一个光速只有每小时5英里的世界，相当于普通婴儿车的速度。如果光速为每小时5英里，那么，时间和空间经历了巨大扭曲将成为“常识”。例如，汽车每小时行驶不能超过5英里，而那些速度接近每小时5英里的人将会变平，像煎饼一样。（奇怪的是，这些缩小的汽车对于观察者来说不仅看起来变平了，还是旋转的。）此外，在这些汽车里变平的人看上去几乎静止（一动不动），时间似乎也冻结了（因为随着汽车的加速，时间会变慢）。当这些变平的汽车在红绿灯处减速时，会逐渐缩小长度，直到达到原来的尺寸，车内的时间将恢复正常。

当爱因斯坦1905年的革命性的论文发表时，该论文在很大程度上遭到了忽视。事实上，他提交这份文件是为了获得一份伯尔尼大学的教学职位，但论文遭到了拒绝。古典牛顿物理学家接受的是绝对空间和绝对时间的概念，爱因斯坦的建议也许是麦克斯韦方程悖论的最极端解。（仅几年后，当实验证据指出爱因斯坦理论的正确性时，科学界认识到这篇论文包含了天才的想法。）

几十年后，爱因斯坦坦言麦克斯韦对狭义相对论发展的重要性，他直截了当地说，“狭义相对论起源于麦克斯韦的电磁场方程。”

事后看来，我们意识到爱因斯坦能比其他人更深入接受麦克斯韦的理论，是因为他掌握了统一的原则，理解了潜在的链接看似不同对象的统一对称性。（对物理学家来说，对称性有确切的含义——如有一个方程，当你移动或转动它的分量时保持不变，它就有对称性。对称性是物理学家构建统一场论的最有力工具。更多详细信息，参见第7章。）例如，空间和时间（以及物质和能量）。就像牛顿发现地球物理和天体物理可通过万有引力定律统一，或麦克斯韦发现电和磁的统一一样，爱因斯坦统一了空间和时间。

这个理论证明了空间和时间是科学家称之为“时-空”的同一个实体的不同表现。事实上，这个理论不仅统一了空间和时间，它还统一了物质和能量。

乍看之下，在表面上，似乎没有什么东西的差别会比一个丑陋的岩石和灿烂的光芒的差别大。然而，表观具有欺骗性。爱因斯坦首先指出，在某些情况下，即使一块岩石（铀）也能变成一束光（核爆炸）。物质转化为能量的过程，通过原子分裂以实现，原子分裂将释放出储存在原子核内的巨大的能量。在爱因斯坦的意识中，相对论的本质在于物质可以变成能量，反之亦然。



空间扭曲

尽管爱因斯坦的狭义相对论在被提出后的几年内就得到了广泛的认可，但爱因斯坦并不满意这个理论。他认为，这仍然不完整，这个理论忽略了对任何重力的提及，牛顿的引力理论似乎违背了狭义相对论的基本原则。

想象一下，太阳如果突然消失会发生什么？地球甩出公转轨道需要多少时间？根据牛顿的理论，如果太阳消失，地球会立刻飞入太空深处，离开太阳系。

对爱因斯坦来说，这个结论不可接受。任何东西，包括重力，不可能快于光速。地球需要8分钟（太阳发出的光到达地球所需的时间）才能脱离轨道。这显然需要一个新的引力理论。牛顿的引力理论一定是错误的，因为它并未提到光速这个宇宙中的终极速度。

爱因斯坦在1915年提出的解决这个难题的方法是广义相对论，将引力解释为时空和物质能量的结合。虽然这个方程的数学很复杂，但这个理论可由简单的物理图像作概括。

想象一下，一个蹦床网，中间放着一个保龄球。自然地，球的重量会使蹦床网下沉。现在，考虑一个沿着弧形网表面运动的小弹球。这个小弹球不会沿着直线运动，而是在保龄球引起的凹陷周围的环形轨道上行进。

根据牛顿的说法，人们可以想象一种无形的“力”作用在保龄球和小弹球之间。然而，根据爱因斯坦的说法，更简单的解释是保龄球引起的网表面的扭曲使小弹球在圆周上运动。

现在让我们想象，这个球实际上是我们的太阳，小弹球是地球，蹦床网是空间-时间。我们忽然认识到，“重力”根本不是力，而是质量-能量（太阳）存在所引起的时空弯曲。

如果保龄球突然从蹦床网上被移走，那么，由它的移除引起的振动必然会像波浪一样沿着网的表面传播。几分之一秒之后，这个波会撞击小弹球，小弹球的路线必然发生改变。显然，这就是太阳突然消失会发生什么这个问题的解。万有引力的波以光的速度传播，在太阳消失后的8分钟到达地球。重力理论和相对论兼容了。

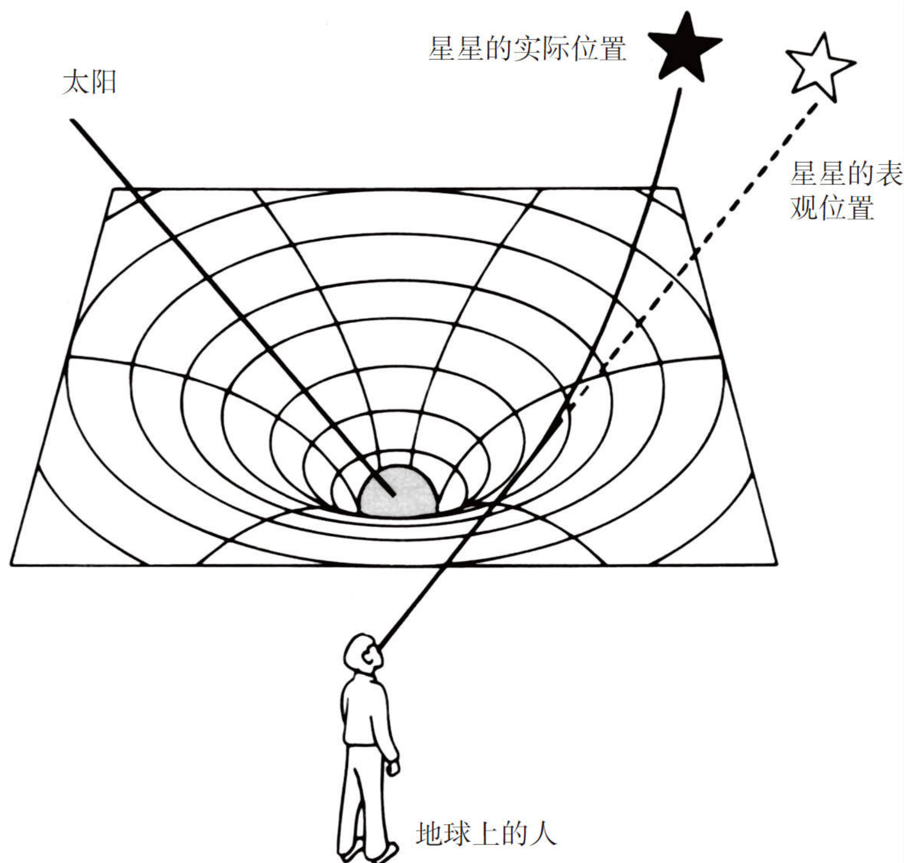
许多物理学家怀着怀疑的心理再次欢迎爱因斯坦的重力新理论。物理学家被爱因斯坦所说的我们生活在四维时空连续体搞晕了，现在又面临着一个更不可思议的理论——这个连续体由于物质-能量的存在而扭曲。

1919年5月29日，爱因斯坦的广义相对论在巴西和非洲的一次日全食中进行了戏剧性的测试。爱因斯坦的理论预测光束的路径（像物质一样）——当它经过太阳时会弯曲（见下图）。这意味着太阳那样巨大的物质-能量可能会扭曲时空。此星光围绕太阳的偏转是对这些想法一个戏剧性的验证。

星光路径的这种扭曲是通过日食期间比较做出的，当星星变得可见时，测量夜晚的星星位置和白天的星星位置。当科学家测量太阳的存在确实产生了星光弯曲并验证了广义相对论时，世界为之轰动。

爱因斯坦是如此确信这个物理图像和方程的正确性，以至他对日食实验的结果丝毫不感到惊讶。那年，一名学生问爱因斯坦，如果实验失败，他会有什么反应。“我会为亲爱的上帝感到遗憾，”爱因斯坦回答，“但我的理论绝对正确。”

（事实上，爱因斯坦的理论建立在严格的物理原则基础上，且有如此美丽的对称，以至于他在获得诺贝尔奖之前深信自己向前妻做出的承诺，相信她一定能得到离婚协议中自己承诺的诺贝尔奖份额。然而，当1921年爱因斯坦最终获得诺贝尔物理学奖时，诺贝尔委员会在相对论这个问题上的意见不一，尽管有大量数据支持相对论，但爱因斯坦却因其关于光电效应的理论获奖。）



根据爱因斯坦的说法，重力使星光弯曲是因为太阳实际上扭曲了它附近的时空。图中，黑星代表恒星的实际位置，白星代表从地球上观看恒星的表观位置。

今天，重力导致的光线偏移可在实验室测量，而无需将光束越过太阳。在1959年和1965年，哈佛大学教授罗伯特·庞德和他的同事们表明，当伽马射线（一种形式的电磁辐射）从一个大楼顶部到底部传送74英尺的距离，重力会使它们的波长改变一个极小的但仍能测到的量——一百万亿分之一。这也是爱因斯坦预测的数量。

尽管多年来人们将爱因斯坦的理论成就归因于他的“天才”，事后看来，我们可以在一致性的背景下考虑广义相对论。爱因斯坦的策略类似于牛顿和麦克斯韦，即发现潜在物理原理能将两个不同概念结合在一个宇宙统一体中。



从革命到遗物

爱因斯坦受到他早期时空理论和引力理论成功的鼓舞，开始寻找更大的猎物——统一场理论，试图将重力几何理论与麦克斯韦的光理论结合起来。

讽刺的是，尽管全世界都知道阿尔伯特·爱因斯坦与艾萨克·牛顿同样伟大（因为他敢洞察宇宙的秘密），但许多人却不知道爱因斯坦花了自己生命的最后30年，孤独、沮丧，徒劳地探索统一场论。20世纪40—50年代，许多物理学家声称，爱因斯坦已经落伍了。他们说他孤立、与世隔绝，对原子物理学（即量子理论）的新发展一无所知。一些人甚至在他背后嘲笑他衰老了，是一个追逐荒谬的疯子。甚至，与爱因斯坦工作过的高级研究所的所长J.罗伯特·奥本海默（J.Robert Oppenheimer）也在许多场合对自己的同事说，“爱因斯坦的探索是徒劳。”

爱因斯坦自己也承认，“我通常被认为是一种石化的物体，多年来变得又瞎又聋。”在他生命的最后几年，他几乎与自己的同伴完全隔离，因为他被统一场论吸收，而不是原子物理学和量子理论的新发展。“我看起来像一只鸵鸟，”他在1954年说，“我永远把头埋在相对论的沙子里，拒绝面对那邪恶的量子。”

事实上，爱因斯坦对他的几个同事有些失望，他认为这些人目光短浅，心胸狭窄，他写道，“我对那些拿着一块木头，寻找它最薄的部分，在那些最容易钻孔的地方钻很多洞的科学家没什么耐心。”他曾对自己的秘书说，“100年后的物理学家（非当代物理学家）一定会欣赏他的劳作。”偶尔的孤独不会导致他烦恼——“我这种类型的人的本质，”爱因斯坦曾说，“在于思考什么和怎样思考，而不是做什么或遭受什么。”

当时的科学界不是试图将光与重力结合起来（大多数物理学家认为这还为时过早，甚至不可能），而是被吸引到了一个全新的方向：原子和核物理的诞生。

历史上，从来没有一个新的科学分支预示过如此重大的事件：原子弹爆炸。突然间，一些物理学家用铅笔和纸做的无人知晓的工作开始改变人类的进程。他们的神秘方程——只有少数在新墨西哥州的洛斯阿拉莫斯实验室类似地方工作的人能理解的方程，突然变成了世界历史上举足轻重的力量。

20世纪30—50年代，物理学中的主要活动不是相对论或统一场论，而是量子理论的发展。爱因斯坦的大多数同事，例如哥本哈根的尼尔斯·玻尔（Niels Bohr）和哥廷根的沃纳·海森堡（Werner Heisenberg）都忙于构建描述原子和核现象的数学语言：量子力学。那个时代，爱因斯坦几乎是独自一人追求着光与重力的统一。

有人认为，爱因斯坦一生犯了一个最大的错误，拒绝量子力学。然而，这是不了解爱因斯坦科学思想的科学历史学家和记者所特有的错误。其原因是，这些历史学家中的大部分人不懂用于描述统一场论的数学。

50年前发表的爱因斯坦作品的一份仔细的科学读物并未显示他的过时，而是揭示了他的方法的现代化。这些文件清楚地表明爱因斯坦最终接受了量子力学的有效性。然而，他个人认为，量子力学是一门不完全的理论，如同牛顿引力理论那样为真，只是不完整。

爱因斯坦相信量子力学虽然很成功，但绝非最终的理论。他后来的科学工作在很大程度上遭到了非科学家和历史学家的忽视。这些工作表明，他相信统一场论存在一个副产品，可完美解释量子力学的特征。爱因斯坦认为，亚原子粒子和原子只会作为他的重力和光的几何理论出现。

遗憾的是，爱因斯坦在追求这一概念，即自然界中的各种力最终必然通过某些物理原理或对称性联系在一起的过程中去世了。甚至，在他去世40年后，大部分他的传记作者仍然跳过了他最后几年的物理学研究，忽略了他寻找统一场论时走进过的死胡同，而是集中着墨于他对核裁军的热心。



爱因斯坦的错误

虽然物理学家不能完全理解将四种基本力结合成一种理论所需的必要细节，但他们却明确地知道爱因斯坦构建统一场论一定会遇到的麻烦。

爱因斯坦曾说，在他的相对论中，放置在宇宙中的不同地方的时钟以不同的速率跳动，但现实生活里的他买不起家里的时钟。爱因斯坦用这种方式揭示了自己获得伟大发现的方法——用物理图像思考。数学，无论多么抽象或复杂，总是后来出现的，它只是作为一种工具将这些物

理图像翻译成精确的语言。爱因斯坦构思的图像是如此的简单和优雅，以至于它们可以被公众理解。数学可能是模糊且复杂的，但物理图像总是简单美丽。

爱因斯坦的一位传记作者指出，“爱因斯坦总是从最简单的可能的想法开始，然后，他会将它放在适当的背景下描述。这个直观的方法就像画一幅画一样，一种经验教会了我知识和理解的区别。”

由于爱因斯坦具有敏锐的洞察力，他能比其他人看得更远。正是爱因斯坦伟大的绘画洞察力使他提出了相对论。30年来，在物理学中，他一直是巨人，因为他的物理图像和构思能力始终正确无误。然而，讽刺的是，在过去的30年里，爱因斯坦没能创造出统一场论，因为他放弃了这种概念性的方法转而求助于没有任何清晰视觉图像的模糊数学。

当然，爱因斯坦意识到自己缺乏指导性的物理原理。他曾经写道，“我相信，为了取得真正的进展必须再次从自然中寻找某些一般性的原理。”然而，不管他多么努力，都无法思考出一个新的物理原理，所以他逐渐变得痴迷于纯数学方向，如“扭曲”几何形状是缺乏物理内容的奇异数学结构。最终，他未能创造统一场论这个他研究的中心，因为他偏离了自己的原始路径。

回顾过去，我们看到超弦理论可能是爱因斯坦多年来一直回避的物理框架。超弦理论非常图像化，包含了无穷多个粒子作为振动弦的模式。如果这个理论兑现了它的承诺，我们会再次看到，最深刻的物理理论可以用一个令人惊讶的简单的图像化的方式来描述。

爱因斯坦追求统一是正确的。他相信一个潜在的对称性是所有的力统一的根源。然而，他使用了错误的策略，试图联合引力和电磁力（光），而不是联合核力。爱因斯坦试图联合这两种力是自然的，因为这是他有生之年的重点研究对象。他有意识地选择忽略核力，这也许可以理解，因为在那时它是最神秘的。同时，他更不喜欢描述核力的理论——量子力学。

相对论揭示了能量、重力和时空的秘密；而主宰20世纪的另一理论是量子力学，是一门物质理论。简单来说，量子力学通过联合波和粒子的双重概念成功地描述了原子物理学。但爱因斯坦并未意识到统一场论的关键在于相对论和量子力学的结合。

爱因斯坦是理解力的大师，但他对物质的理解薄弱，特别是对核物质理解薄弱。接下来，我们谈谈这个问题。

3　量子谜题

20世纪初，一系列挑战牛顿物理学的新实验引起了科学界的混乱。世界见证了从旧秩序的灰烬中浮现出新物理的阵痛。然而，在混乱中出现了两种理论，而不是一种。

爱因斯坦开创了第一个理论——相对论——并集中他的全部努力理解重力和光这些力的性质。然而，理解物质本质的基础是被第二个理论——量子力学——奠定的，它控制亚原子世界的一切现象，由沃纳·海森堡（Werner Heisenberg）以及他的合作者创建。



两个物理学巨人

在许多方面，爱因斯坦和海森堡的命运是奇怪地互相交织的，尽管他们创造的统一理论完全不同。他们都是德国人，是革命性的破坏传统的人，挑战他们前辈的既定智慧。他们是如此彻底地主宰了现代物理学，以至于他们的发现将决定半个多世纪的物理进程。

他们在惊人的年轻时代就做出了最好的工作。爱因斯坦发现相对论时只有26岁；海森堡制定大部分量子力学定律时只有24岁（21岁，完成博士学位），他获得诺贝尔奖时只有32岁。

两人都沉浸在世纪之交孕育了德国艺术和科学繁荣的知识传统中。大多数有抱负的梦想成为一流物理学家的科学家都进行过德国朝圣之旅。［20世纪20年代末，一位美国物理学家，不满意美国的原始物理水平，奔赴德国哥廷根学习，师从量子力学大师。这位物理学家J.罗伯特·奥本海默（J.Robert Oppenheimer）此后建造了第一颗原子弹。］

两个人物的命运也都被德国历史的黑暗的一面——普鲁士军国主义传统和独裁触动。1933年，法西斯主义开始越来越明显时，爱因斯坦作为一个犹太人，为了自己的生命逃离了纳粹德国。然而，海森堡留在德国，甚至参与了希特勒的原子弹项目。事实上，德国的世界著名物理学家，比如海森堡的存在有助于说服爱因斯坦在1939年写了一封著名的给富兰克林·罗斯福总统的信，敦促他制造原子弹。几年前，OSS（中央情报局的前身）的前代理人曾揭示了盟国非常害怕海森堡，他们起草了必要时暗杀他的周密计划，阻止德国人制造原子弹。

除了个人命运，他们的科学创造也有着错综复杂的联系。爱因斯坦的杰作是广义相对论，它回答以下问题——时间有开始和结束吗？宇宙最远点在哪儿？最远的地方之外有什么？创世之初发生了什么？

相比之下，海森堡和他的同事，如欧文·薛定谔（Erwin Schrrdinger）以及丹麦物理学家尼尔斯·玻尔（Niels Bohr）精确地提出了相反的问题——宇宙中最小的物体是什么？物质能无限制地分成越来越小的块吗？在提出这些问题的过程中，海森堡和他的同事创造了量子力学。

在许多方面，这两种理论似乎是对立的——广义相对论涉及星系的运动和宇宙，量子力学探索亚原子世界；相对论主要是一种连续填满所有空间的力场理论（例如，重力场可以与延伸到太空外层的像卷须一样的薄纱相比）；相反，量子力学主要是原子物质的理论，它比光速慢得多。在量子力学的世界，一个力场仅是看上去平滑和连续地占满了所有的空间。如我们仔细研究，会发现它实际上是被量化为离散的单位。例如，光由称为量子或光子的微小能量包组成。

两种理论本身都不能令人满意地描述自然。爱因斯坦徒劳地将相对论推到断裂点，表明相对论本身并不能成为统一场论的基础。量子力学没有相对论也不满意，量子力学只能用于计算原子的行为，不能计算星系和膨胀宇宙的大规模行为。

然而，将这两种理论融合在一起，耗费了数十位理论物理学家近半个世纪的巨大精力。直至最近几年，物理学家借助超弦理论或许最终实现了它们可能的综合。



普朗克——不情愿的革命者

量子理论诞生于1900年，当时，物理学家发现了让他们迷惑的被称为“黑体辐射”的东西。例如，我们无法解释为什么一根钢筋被加热到高温时会发光，热得发红，然后热得发白，或者为什么岩浆从火山喷发出时热得发红。

假设光纯粹地像波浪那样，可以在任何频率振动，他们发现自己的理论不能预测热得发红和热得发白的颜色。这种困惑被称为“紫外线灾难”（其中紫外线只是指高频辐射），多年来一直困扰着科学家。

1900年，德国物理学家马克斯·普朗克（MaxPlanck）找到了解决这个问题的办法。他是柏林的一名教授，在那里正进行一些关于黑体辐射的精确实验。一个星期天，他和妻子招待一些实验物理学家。海因里希·鲁本斯（Heinrich Rubens）是其中之一，他无意地告诉了普朗克自己关于黑体辐射的最新发现。鲁本斯离开后，普朗克意识到自己可以通过数学技巧推导出一个正确拟合鲁本斯数据的方程。他为他的新理论感到兴奋，那天晚上，他给鲁本斯寄了一张明信片，告诉他自己的发现。

当普朗克在那个月向柏林物理学会展示他的成果时，他非常谦虚，只有一半的人相信他提出的理论的意义。他提出辐射并非如物理学家所想的那样，完全像波浪，而是以确定的离散包形式的能量转移。普朗克在自己1900年12月的论文中提醒道，“实验将证明这个假设在自然界中是否成立。”

普朗克意识到物理学家从未见过能量的粒状性质，因为每个包的“尺寸”非常小（由数字$h = 6.5 \times 10^{-27}$erg　sec确定，现称“普朗克常数”）。这个数字实在太小，因此，我们从未在日常生活中看到量子效应。

物理界对普朗克的新想法和它的逻辑结论，光不是连续的而是粒状的持强烈的怀疑态度。光可以被劈成像粒子一样的“量子”碎片被认为非常荒谬。

5年后，1905年，爱因斯坦（仍是一位默默无闻的物理学家）写下光电效应理论，将量子理论推向了下一个关键步骤。普朗克是一个不情愿的，几乎是胆小的革命者，这是19世纪物理学家典型的气质；爱因斯坦则大胆地提出了自己的理论，在新的方向上大步跨出。

爱因斯坦利用普朗克关于量子的奇怪理论猜想，当光粒子撞击金属时会发生什么？如果光是遵循普朗克理论的粒子，那么，它应该从金属中的一些原子中将电子反弹出去，并产生电。然后，爱因斯坦用普朗克常数计算出了弹出的电子能量。

实验物理学家很快就验证了普朗克定律和爱因斯坦方程。普朗克在1918年因其量子理论获得诺贝尔奖，随后，爱因斯坦于1921年因提出光电效应获得诺贝尔奖。

今天，我们受益于量子光电效应的应用。举例来说，电视成为可能正是因为这个发现。电视里的摄像机利用光电效应记录金属表面上的图像。光线通过相机的透镜进入相机撞击金属，并产生特定的电模式，然后转换成电视波打到家用电视机上。不同于普通的照相机胶片仅暴露一次，这种金属可以重复使用，因此可以捕捉运动图像。



量子食谱

几千年来，人们一直认为粒子和波是不同的实体。然而，至本世纪初，这种区别崩溃了。普朗克和爱因斯坦不仅展示了光（波）有明确的粒子状特性，电子实验也显示粒子呈现出波状特征。

1923年，一位年轻的法国王子和物理学研究生，路易·德布罗意（Louis de Broglie）写了一个“物质波”应该服从的基本关系，说明电子应像光波一样有一个确定的频率和波长。

然而，威尼斯物理学家欧文·薛定谔在1926年走出了决定性的一步。薛定谔被德布罗意写下的方程所鼓舞，写下了这些波应服从的完整的方程（称薛定谔波动方程），这是一个几乎由海森堡同时写下的不同形式的理论。从此，普朗克、爱因斯坦和玻尔的旧的量子理论转变成成熟的薛定谔和海森堡的成熟的量子力学。

1926年以前，科学家认为，试图预测世界上最简单的化合物的化学性质是不可能的。1926年以后，物理学家从完全无知变为几乎完全理解了控制简单原子的方程。量子力学的力量太巨大，原则上，所有的化学都能归结于一系列方程。

对物理学家来说，使用薛定谔波动方程就像按照一本精心制作的食谱进行烹饪，因为它能准确地告诉你应混合多少种成分，搅拌多长时间，以确定原子和分子的确切性质。尽管对越来越复杂的原子和分子，薛定谔波动方程的求解将变得困难，但如有足够大的计算机，我们可利用这个方程推断出所有已知化学物质的性质。事实上，量子力学比普通的烹饪书强大多了，因为它还允许我们计算自然界中尚未被我们发现的化学物质的性质。



晶体管、激光和量子力学

量子力学在我们身边无处不在。没有量子力学，大量熟悉的物体，如电视、激光、计算机和无线电将不复存在。例如，薛定谔波动方程解释了许多以前已知的但令人困惑的事实，如导电性。这个结果最终导致了晶体管的发明。如没有晶体管技术，现代电子和计算机技术将不复存在，晶体管是纯量子力学现象的结果。

例如，在金属中，原子以有序的方式排列在格子里。薛定谔方程预测金属原子中的外层的电子与原子核是松散结合的，事实上，可以在整个晶格中自由漫游。甚至，最小的电场也能推动这些电子围绕晶格运动——产生电流，这也是金属导电的原因。然而，对于橡胶和塑料，外部电子的束缚更紧密，没有这种自由漫游的电子以产生电流。

量子力学还解释了半导体材料的存在，有时能像导体那样工作，有时又像绝缘体。因此，半导体可以用作控制电流的放大器。如同水龙头是通过简单的扭转腕关节控制水流一样，晶体管控制电流。今天，晶体管控制我们个人电脑、收音机、电视等电器中电的流动。对晶体管的发明，三位量子物理学家分享了1956年的诺贝尔奖，他们是约翰·巴丁（John Bardeen）、威廉·肖克利（William Shockley）和沃尔特·布拉顿（Walter Brattain）。

量子力学催生了另一项发明——激光，它正在改变我们的经营工业和商业方式。

量子力学首次解释了氖和荧光灯工作的原理。在霓虹灯中，电流通过气体管，激励气体原子，将它们的电子踢到更高的轨道，或者更高能级。现在，气体原子中的电子处于“兴奋”状态，想衰变回它们原来的能量较低的状态。当电子最终衰变回较低的轨道时，释放能量并发光。

在灯泡中，被激发的原子随机衰减。事实上，我们周围所有的光，包括太阳光，都是随机的或者是不相干的，以不同频率和不同相位辐射振动的疯狂的大杂烩。物理学家，如20世纪80年代加州大学伯克利分校的查尔斯·汤斯（Charles Townes）利用量子力学预测在某些情况下，被激发的原子可立即衰减成精确同步状态。这种新型辐射被称为“相干辐射”，在自然界中从未见过。1954年，汤斯和他的同事成功地产生了相干辐射脉冲，那是有史以来最纯粹的辐射形式。

尽管汤斯的开创性工作是微波辐射（他因此获得了1964年的诺贝尔奖），但科学家们很快就认识到他的理论还适用于光。虽然巴克·罗杰斯（Buck Rogers）式的射线枪以及能射进核导弹的光束远超出了我们目前的能力，但商业激光已可用于切割金属、传输通信、外科手术，每天都有新的应用被发现。例如，医生们正使用细玻璃丝传送光能烧掉心脏病人人体静脉中的脂肪沉积。激光唱片改变了立体声录音机的制造方式，许多超市的结账柜台都开始使用激光瞬间读取产品包装上的黑线条形码。

也许，激光最壮观的商业应用将会是三维电视的制造。今天，发布的签证卡上已有鸟的三维立体“全息图”图像。可以想象，将来，我们的电视屏幕是非平面的三维球体，我们可以看到三维人在四处走动。我们的儿孙可能在他们的起居室里看到三维电视，赞美量子力学。

除了晶体管和激光器之外，还有其他数百个重要发现应归功于量子力学。仅举几个例子：

◆电子显微镜。电子显微镜利用电子像波一样的性质可以看到病毒大小的物体。数百万人已直接受益于这个应用到医学上的量子力学发明。

◆解开DNA分子的密码。X射线衍射和其他探针用来确定这些复杂有机物的分子结构。最终，从这些分子的量子力学研究中可能会发现生命本身的秘密。

◆核聚变机。这些机器将利用太阳的核反应在地球上创造巨大的能量。尽管核聚变机还有许多实际未解决的问题，但最终它们或许能提供一种几乎无限的能源。

毫无疑问，量子力学的成功已改变了医学、工业和商业的基础。具有讽刺意味的是，量子力学的实际应用如此明确，但它本身却代表非常大的不确定性。简而言之，量子力学在物理世界投下了一颗炸弹，结果是令人震惊的。“任何未被量子理论震惊的人，”尼尔斯·玻尔声称，“只是对它缺乏理解。”



海森堡测不准原理

1927年，沃纳·海森堡提出，不可能同时知道一个物体的速度和位置。一个波浪毕竟是一个模糊的物体，如果我们站在海滩，如何精确计算海波的速度和位置？不能！我们永远无法同时准确地知道一个电子的位置和速度，这也是薛定谔方程的一个直接解。

根据海森堡的说法，这种不确定性的产生是因为在亚原子领域观察一个物体位置和速度变化这个动作本身。换句话说，测量一个原子系统的过程对该系统的干扰非常大，以至于改变了它的状态，使系统的状态定量地不同于它在测量前的状态。例如，一个电子是很小的，要测量它在原子中的位置，光子必须打到这个电子上。然而，光很强大，它能将

电子推出原子，改变电子的位置和地点。

人们会争辩，使用更好的测量设备测量电子的速度和位置，可以不发生改变吗？根据海森堡的说法，答案是否定的。量子力学断言，我们永不可能同时知道单个电子运动的准确速度和位置，不管我们的测量装置多灵敏。我们可以知道一个条件或者另一个，但不能同时都知道，这叫海森堡测不准原理。



决定论的垮台

牛顿认为，宇宙就像一个巨大的时钟，上帝在时间开始时为时钟上足了发条。从那以后，它一直根据牛顿提出的三个运动定律嘀嗒作响。这个理论被称为牛顿决定论，该理论指出运动三定律可以在数学上决定宇宙中所有物体的精确运动。

法国数学家皮埃尔·西蒙·拉普拉斯（Pierre Simon Laplace）更进了一步，他相信所有未来的事件（不仅是哈雷彗星和未来的日食，甚至未来的战争和非理性人类决策）都能预先计算，只要所有原子在时间开始时的初始运动为已知。例如，决定论最极端的形式是，数学公式能提前计算出10年后的今天你会去哪家餐馆吃饭，你会点哪些菜品。

此外，根据这种观点，可以事先确定我们是死于天堂还是地狱，没有自由意志。（当拉普拉斯写下他的代表作《天体力学》时，拿破仑问他，为什么没有提到造物主。拉普拉斯回答，“我不需要那个假设。”）

然而，根据海森堡的说法，所有这些都是无稽之谈，我们的命运不会被单一地封闭在量子天堂或地狱。不确定性原则使我们不能预测单个原子的精确行为，更别说宇宙了。根据这个理论，在亚原子领域，只能计算概率。例如，由于不可能知道电子的速度和确切的位置，所以很难预测电子的个体行为。但是，我们能非常精确地预测大量电子表现出某种方式的概率。

例如，想象一下，数百万学生参加每年的大学入学考试。很难预测每个个人在考试中的表现，但我们能以不可思议的准确性预测他们的平均成绩。事实上，平均成绩的钟形曲线每年变化极小。因此，我们可以在考试前预测数百万学生在考试中的平均分数，却不能预测任何一个学生的单一结果。

同样，在单个放射性铀核的情况下，我们知道它不稳定并最终会瓦解，但我们永远不能准确预测它何时以什么能量衰减。不进行原子核状态的实际测量，量子力学不知道它是完好无损的，还是已经蜕变的。事实上，量子力学描述一个单核的方式是假设它是这两种状态的混合。因而，一个铀原子核在被测量之前，物理学家认为，它是处于完好无损和蜕变之间的幽冥状态。



好奇害死了猫

尽管科学家在实验室里从未见过违反量子力学的情况，但该理论不断违反“常识”。由量子力学引进的概念实在新奇，以至于欧文·薛定谔在1935年设计了一个巧妙的“思维实验”，捕捉到了它的明显荒谬。

想象在盒子里有一瓶毒气和一只被困的猫，盒子不允许被打开。显然，我们不能窥视盒子的内部，我们只能说猫也许死了，也许活着。现在，想象一下，那瓶有毒气体被连接到能探测铀矿石辐射的盖革计数器（单个铀原子核分解释放辐射，将引发盖革计数器，接下来瓶子会被打破猫会死亡）。

根据量子力学，我们不能确切地预测一个铀原子核何时解体。我们只能计算数十亿个原子核瓦解的概率。因此，描述单个铀原子核，量子力学通常假设它为两种状态的混合物——一种状态是铀核是惰性的；另一种状态是已经衰变。猫则由含有猫无论是死是活的概率的波函数描述。换句话说，我们必须在统计上假设猫是两种状态的混合体。

当然，一旦我们被允许打开盒子做测量，我们可以确定猫是死了还是活着。但在盒子被打开之前，根据概率，猫在统计上处于生死未卜的状态。打开盒子的行为决定了猫是死是活——根据量子力学，事实上，正是这种测量过程本身决定了猫的状态。量子力学暗示，物体在被观察到之前，存在于不确定的状态（例如死亡或活着）。

爱因斯坦被量子悖论的含义困扰，比如薛定谔的猫。他写道，“这会允许这样吗？”爱因斯坦像牛顿那样坚信客观现实，认为物理宇宙存在于精确的状态，独立于任何测量过程——测量只是确定状态的过程，不会影响结果。

量子力学的引入捅开了一个哲学思想的马蜂窝，从那以后，一直嗡嗡作响。



哲学与科学

科学家一直对哲学感兴趣。“没有认识论的科学，”爱因斯坦晚年写道，“是迟钝和糊涂的。”的确，年轻时，爱因斯坦和几个朋友成立了奥林匹亚学院，一个非正式的学习哲学的小组。欧文·薛定谔在发表波动方程的前几年，决定暂时放弃物理的职业而倾向于哲学。马克斯·普朗克在他的书《物理学哲学》中写了自由意志和决定论。

尽管量子力学科学家在亚原子水平上进行的每一个实验都取得了决定性的胜利，但它仍然提出了一个古老的哲学问题——森林中的一棵树倒下，如果没人听道，它会发出声音吗？18世纪哲学家，如伯克利主教和唯我论者会回答“不”！对唯我论者来说，生活是一场梦，除了梦想家并不实际存在。一张桌子只有当一个有意识的人观察它时，它才存在。笛卡尔曾说：“我想，我适用于唯我论者。”

另一方面，自伽利略和牛顿时代以来，科学的所有重大进步都认为，树落下是客观事实且会发出声音——物理定律客观存在且不由主观观察决定。

然而，量子物理学家——把他们的陈述建立在有效且非常成功的数学公式上——上升到了哲学高度，“不进行测量，现实是不存在的。”换句话说，观察过程创造现实。

起初，传统物理学家对这种新的世界观表示怀疑。的确，量子力学的创始人表达了他们的担忧，因为这迫使他们放弃牛顿物理学的古典世界。海森堡会记得自己在1927年深夜与玻尔的对话，几乎陷于绝望。他独自在公园散步，散步期间海森堡反复问自己一个问题——自然像这些原子实验中看起来的那样荒谬吗？但量子物理学家全心全意地接受了这一新理论，就像今天的许多物理学家一样，它控制了未来45年物理学的进程。

然而，有一个物理学家从未接受过量子理论对现实的看法，他是爱因斯坦。他反对量子力学有几个原因。首先，他不认为概率是整个理论的有效基础。他不能接受将纯粹的偶然因素构建到概率理论中。“量子力学给我印象深刻，”他写信给马克斯·伯恩，“……但我深信，上帝不会掷骰子。”

其次，爱因斯坦相信量子理论是不完整的。他争辩，“以下完整理论

的要求似乎是必要的：物理现实的每一个元素都必须在物理理论中有一个配对物”，“量子力学在这方面失败了，它只能处理群体行为，而无法详细解释个别事件的理论体系”。

此外，爱因斯坦坚信因果关系，不能接受对宇宙的非客观看法。面对量子力学的实验成功，爱因斯坦给伯恩的信中写道：“迄今，我仍然相信客观真实性，然而目前，实验成功与此背道而驰。”

爱因斯坦几乎是独自一人持反对态度，其他的物理学家纷纷加入了量子潮流。直到死亡，他也认为量子理论是不完整的。爱因斯坦给一位朋友的信中写道：“在同事眼里，我变成了顽固的异教徒。”然而，这似乎并不会对他产生什么干扰。大多数人的意见仍不能使他动摇，爱因斯坦指出，“以牛顿的古老引力理论为例，它成功了200多年才被揭示出是非完整的。”

应该强调的是，爱因斯坦确实接受了量子力学的数学方程。然而，他认为量子力学是一个潜在理论（统一场论）的不完整表现。他从未放弃寻找一种理论将量子现象和相对论结合起来。当然，他未能活着看到超弦理论可能会变成这样的理论的那天。



实用主义规则

20世纪30—40年代，量子力学盛行。也许，世界上99%的物理学家在一个阵营，爱因斯坦却坚定地站在了另一边。

少数科学家，包括诺贝尔奖获得者物理学家尤金·维格纳（Eugene Wigner）采取的立场是，测量意味着某种类型的意识。他们争辩，只有有意识的人或实体才能进行测量。因此，根据这少数人的看法，由于量子力学中所有的物质的存在都取决于测量，所以宇宙的存在取决于意识。

这不一定是人类的意识——它可以是宇宙中其他地方的智能生命，也许是外星人的意识，或者上帝的意识。自量子力学模糊了被测物体和观测者的区别以来，也许，根据他们的观点，当观察者（一个有意识的生物）首次观察时，这个世界可能会突然出现。

然而，绝大多数物理学家持务实的观点，即测量确实可以在没有意识的情况下进行。例如，照相机可以进行测量而无需“意识”。一个穿越

银河系的光子的状态是不确定的，但一旦它击中相机镜头并曝光一片胶片，状态将被确定。因此，相机镜头执行的功能类似测量者。在光束击中相机之前，它处于混合状态，相机曝光胶片确定了光子的精确状态。显然，测量并非一定在有意识的观察者的情况下才发生，更不由意识决定。

［顺便说一句，超弦理论可能提供了全面看待薛定谔的猫的方式。通常，在量子力学中，物理学家会写某个粒子的薛定谔波函数。然而，超弦理论的完整的量子力学描述要求我们写出整个宇宙的薛定谔波函数。以前的物理学家写一个点粒子的薛定谔波函数，超弦理论要求我们写时空，也就是宇宙的波函数以及宇宙中所有粒子的波函数。当然，这并不能解决与薛定谔的猫有关的所有的哲学问题，但它意味着原始问题的提法（处理盒子里的猫）可能是不完整的。薛定谔的猫的问题的最终解决方案，可能需要我们对宇宙有更详细的了解。］

大多数物理学家享受了50年量子力学的巨大成功。我想起了第二次世界大战后在洛斯阿拉莫斯工作的年轻的物理学家，伟大的匈牙利数学家约翰·冯·诺依曼（John von Neumann）回答一个年轻人的困难的数学问题。

冯·诺依曼回答，“简单，可以通过使用特征法求解。”

年轻的物理学家回答说：“恐怕，我不懂特征法。”

“年轻人，”冯·诺依曼说，“在数学中，你不懂的事情，只是习惯它就行。”



没有相对论，量子力学是失败的

撇开哲学问题不谈，20世纪30—40年代，量子力学就像一辆势不可挡的麦克卡车行驶在高速路上，将困扰物理学家几个世纪的所有问题变得简单。一个傲慢的年轻量子物理学家保罗·迪拉克（Paul Dirac）激怒了许多化学家，他狂妄地说，“量子力学可将化学中的一切简化为一组数学方程。”

然而，量子力学本身并不是一种完全的理论。我们应该小心地指出，只有当物理学家用量子力学分析那些比光速低得多的微观世界时它才起作用。当它试图包含狭义相对论时，麦克卡车撞上了砖墙。

从这个意义上说，量子力学在20世纪30—40年代的恢弘的成功只是侥幸。氢原子中的电子的速度通常比光的速度低很多。如果大自然创造的原子的电子速度接近于光速，狭义相对论将变得越来越重要和正确，量子力学却显得不那么成功了。

在地球上，我们很少能看到接近光速的现象。量子力学在解释日常生活方面很有价值，比如，激光器和晶体管。然而，当我们分析宇宙中超快速的和高能粒子时，量子力学将让步于相对论。

想象一下，在赛道上驾驶丰田汽车如出现以下情况——车速慢于每小时100英里时，车会表现得良好；当你试图以每小时150英里的速度行驶时，汽车可能会抛锚甚至失控。这并不意味着我们对汽车工程的理解已经过时，车必须被扔掉；相反，对于超过每小时150英里的速度，我们需要一辆经过彻底改装的汽车使其能应付如此高的行进速度。

同理类推，当处理远低于光速的速度时，狭义相对论可以忽略，科学家们发现此时的测量与量子力学的预测一致。当处理高速问题时，量子理论失效了，量子力学必须与相对论结合。

量子力学和相对论的第一次联姻是个灾难，当时，创造了一个疯狂的理论（称“量子场论”）。几十年来，它仅产生了一系列毫无意义的结果。例如，每一次，物理学家试图计算电子碰撞会发生什么时，量子场论都会预测电子碰撞为无限值。

量子力学和相对论的完全结合，必须包括狭义相对论和广义相对论，这是本世纪的一个重大的科学问题，只有超弦理论声称能解决它。

仅只有量子力学是有限的，就像19世纪的物理学家，只针对点粒子而不是超弦。

高中，我们学习力场，如重力场和电场服从“平方反比定律”——距离粒子越远，重力场和电场越弱。例如，离太阳越远，引力作用越弱。然而，这同时意味着，当人们接近粒子时，该力会急剧上升。事实上，在一个点粒子的表面，点粒子的力场必须是零平方的倒数，也就是1/0。然而，像1/0这样的表达式是无限的，定义不清。这足以使理论变得无用，包含不定式的理论无法计算，因为结果不可信。

不定式的问题困扰了物理学家50年。只有超弦理论出现，这个问题才能得到解决，因为超弦消除了点粒子，用弦替换了它们。海森堡和薛定谔所做的最初假设——量子力学应该建立在点粒子上——太严格了。一个新的量子力学可以建立在超弦理论的基础上。

然而，设法将狭义和广义相对论与量子力学结合起来的理论的机制只能在弦中被发现其迷人的特征，我们将在下面的章节详细讨论。

4　无穷大之谜

保险箱窃贼和理论物理学家有什么共同之处？理查德·费曼（Richard　Feynman）是一个成功的保险箱窃贼，他打开了世界上防护最严密的一些保险箱，他也是世界著名的物理学家。根据费曼的说法，保险箱窃贼和物理学家都擅长通过看似随机的线索或者拼凑的微妙的模式找到问题的答案。

自20世纪30年代以来，物理学家们一直被一种令人沮丧的情绪吞噬——无法破解量子场论“保险箱”的任务，无法找出成功结合量子力学和相对论的关键。然而，在过去的20年，物理学家终于真正从原子对撞机的实验数据中发现了诱人线索，形成了系统的模式。

今天，我们意识到，这种模式可以表达为一种潜在的数学对称性将看似完全不同的各种力联系起来。我们将看到，这些对称性可在抵消量子场论中的分歧中发挥中心作用。发现这些对称性可以抵消这些差异也许是过去半个世纪物理学中最伟大的一课。



费曼的恶作剧

这种利用对称性以及在任何问题中提取关键因素的技巧导致费曼在1949年得出了第一个量子力学与狭义相对论的成功结合。为此，他和他的同事获得了1965年的诺贝尔奖。

这个理论被称为“量子电动力学（QED）”。以今天的标准看，这只是一个微薄的贡献，只处理光子（光）和电子（而不是弱核力或核力，更不是重力）的相互作用。但它标志着，科学家经历了多年的挫折之后，在结合狭义相对论与量子力学过程中取得了第一个重大进展。

量子电动力学理论不同于相对论，犹如费曼的个性不同于爱因斯坦。与大多数物理学家不同，爱因斯坦有一种顽皮的性格，他会抓住一切机会取笑传统社会的保守的崇拜物。如果，爱因斯坦是顽皮的，物理学家理查德·费曼就是个古怪的恶作剧者。

费曼是一名年轻的物理学家，20世纪40年代从事原子弹项目时就显示出了他爱开玩笑的性格。他为自己的窃取保险箱的能力而自豪。一

天，在洛斯阿拉莫斯（Los Alamos），他连续破解了一排三个装有原子弹敏感军事方程式的保险箱。在一个保险箱中，他留下一条潦草地写在黄色纸条上的信息吹嘘自己打开保险箱有多么容易，并签名“聪明人”。在最后一个保险箱，他放入了一条类似的信息，并签名“同一个人”。

第二天，弗雷德里克·德·霍夫曼（Frederic de Hoffman）博士打开保险箱，在世界上保守最严密的信息上发现了费曼留下的神秘信息。费曼回忆道：“我曾在书本上读到过，当人感到害怕时，脸色会变得蜡黄，但我并未真正体验过。这绝对是真的。霍夫曼的脸色变成灰色、黄绿色——非常可怕。”霍夫曼博士看了那张由神秘的“同一个人”签名的纸条，立刻喊道，“‘同一个人’一直试图进入欧米茄大楼！”霍夫曼博士歇斯底里地得出了错误结论：“保险箱窃贼是那个明显在窥视洛斯阿拉莫斯的另一个绝密项目的人。”费曼很快做出了坦白，他成了罪魁祸首。

费曼在处理物理世界的一个更困难的问题时，展示了自己打开保险箱的天才能力，他消除了量子场论中的无穷性。



S矩阵——为什么天空是蓝色的？

当费曼还是麻省理工学院的学生时，他问了自己一个简单的问题：在所有理论物理中，最重要的问题是什么？显然，答案是，消除充斥在量子场论的无穷性。

费曼开始用数字预测，当诸如电子或原子之类的粒子相互碰撞时会发生什么？物理学家描述这种碰撞时，通常使用S矩阵这个术语（S代表“散射”）。它仅是一组数字，包含了粒子碰撞时发生的所有信息。它告诉我们，多少粒子会以某一角度散射一定数量的能量。

计算S矩阵非常重要，如果S矩阵是完全已知的，预测材料的几乎所有特性将在原则上成为可能。S矩阵的一个重要之处是，它能解释令人困惑的日常现象。例如，19世纪的物理学家使用粗糙形式的S矩阵说明太阳光在空中的散射，我们第一次能解释天空为什么是蓝色的，夕阳是红色的。

当我们在白天看天空时，我们主要看到的是从空气分子中反弹出来并在所有方向散射的太阳光。因为蓝光散射比红光更容易，来自天空的光大多是散射光，所以天空看上去是蓝色的。（如果我们想象一个没有空气的世界，白天的天空也是暗色的，因为没有散射光。月球上，没有

空气散射阳光，白天的天空看起来也是黑色的。）

同时，因为相反的效果，日落看起来是红色的——我们主要看到了太阳本身，而非散射光。日落时，太阳位于地平线附近，所以来自夕阳的光必须水平传播到达我们的眼睛，从而穿过一个相对大量的空气。当阳光到达我们身边时，只有红色光未被散射。

20世纪30年代的量子物理学家计算氢原子和氧原子碰撞的S矩阵时，他们证明水会被创造出来。事实上，如果我们知道原子间所有可能的碰撞的S矩阵，原则上我们可以预测所有可能分子的形成，包括DNA分子。最后，这意味着S矩阵掌握了生命本身的起源。

事实上，物理学家必须面对一个根本问题——当传播速度近于光速时，量子力学将失效。早在1930年，罗伯特·奥本海默就发现当狭义相对论与量子力学结合时，会预测出S矩阵一系列无用的无穷大值。他写道，除非这些无穷大值能被消除，否则这个理论必须被丢弃。

20世纪40年代，费曼使用他最好的窃取保险箱技术，在纸片上涂鸦，用图画描绘当电子相互碰撞时发生的事情。由于每个涂鸦实际上是大量乏味数学的速记符号，费曼能浓缩数百页的代数，隔离麻烦的无穷大。这些数学涂鸦让他比那些迷失在复杂数学丛林中的人看得更远。

毫不奇怪，“费曼图”是物理界争论的焦点，在这个问题上物理学家们意见不一。因为费曼无法推导出他的规则，他的批评者认为，这些图表是荒谬的，或许只是他的另一个著名的笑话。一些批评者更喜欢另一个量子电动力学版本，由哈佛大学的朱利安·施温格（Julian Schwinger）和东京大学的友永一郎（Shinichiro Tomonaga）建立。然而，更有洞察力的物理学家意识到，费曼正在用这些图片做一件有潜力的意义深远的事情。普林斯顿物理学家弗里曼·戴森（Freeman Dyson）解释了这种混乱的来源：

> 迪克的物理学对普通人如此困难的原因在于他未使用方程式。自牛顿时代始，通常的理论方法为建立方程式，然后努力计算方程的解。迪克只是写下了自己脑袋中得出的解，未写出方程式。他对事情的判断只需要一个物理图像，他能通过这个图像得出解，只需最少的计算。那些毕生致力于求解方程的人一定会被他弄糊涂——他们的思想是分析性的；迪克的方法是图画。

费曼的涂鸦很重要，因为它们允许他充分利用规范对称的力量，这引发了一场物理学革命，并一直延续至今。



组装式玩具和费曼图

想想玩组装式玩具。假设只有三种类型：直棒（移动的电子），波浪形棒（移动的光子），以及一个可以将一根波形棒和两根直棒连接起来的接头（代表互动）。

假设我们以所有可能的方式连接这些组装式玩具。例如，从两个电子的碰撞开始。很简单，我们可以使用这些组装式玩具创建一个无限序列的图以描述两个电子如何碰撞。

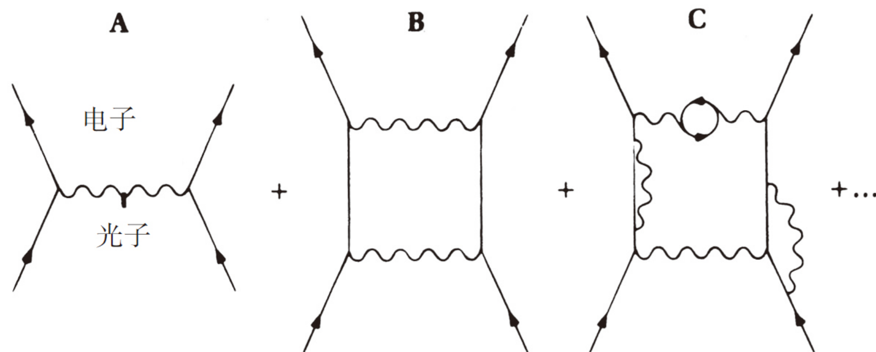
这些图表看似非常简单。有一个无限数量的费曼图，每个代表一个一定的数学表达式，这些图的叠加会产生S矩阵。只要稍加练习，即使没有物理知识的人也能创建数百个组装式玩具图以描述两个电子如何碰撞。

本质上，可以组装两种类型的组装玩具："循环的"（例如最后一幅图），以及"树状的"（不包含循环，类似于树的分支，像第一幅图）。

费曼发现，这些树状图是有限的，并能通过实验产生好结果。但循环图非常麻烦，能产生无意义的无穷大。从本质上说，20世纪40年代的量子物理学家重新发现了19世纪物理学家发现的问题，即发现点粒子的能量是1/0。

今天，超弦理论很可能会消除所有的这些无穷大，不仅是电子和光子的无穷大，甚至重力相互作用中的无穷大。然而，费曼在20世纪40年代就发现了量子电动力学中无穷大问题的局部解。

费曼的解非常新颖，尽管有争议。量子电动力学是一种有两个参数的理论——电子的电荷和质量。除了狭义相对论，麦克斯韦方程也有另一种对称，叫"规范对称"。（波动方程定义在空间和时间的每个点上。如果在空间和时间的每一点做相同的旋转，方程式保持不变，该方程具有全局对称性。如果在空间和时间的每一点做不同的旋转，方程式保持不变，该方程具有更复杂的对称性，称局部对称性或规范对称性。我们现在知道，规范对称可能是消除量子场论中的不良特性的唯一方法。）它允许费曼重组一大堆图表，直到他发现可以简单地重新定义电子的电荷和质量以吸收或取消无穷大。



根据费曼的说法，当两个电子（用直线棒表示）碰撞时它们交换光子（用波浪形棒表示）。在图A中，这些碰撞的电子交换单个光子；在图B，它们交换两个光子；在图C中，它们交换许多光子。

起初，这种处理无穷大的妙招受到了强烈质疑。毕竟，费曼的方法假设电子的原始质量和电荷（“基本的”质量和电荷）一开始就是无限的，但是它们吸收了（“重整化的”）图中出现的无穷大，然后变成有限的。

无穷大减去无穷大能产生有意义的结果吗？（或者，用物理语言，∞-∞＝0吗？）

对批评家来说，使用一组无穷大（源于循环）来取消另一组无穷大（源于电荷和质量）看起来像室内魔术。事实上，狄拉克多年来一直批评重整化理论太笨拙，不能真正代表我们对自然的理解的深刻飞跃。对狄拉克来说，重整化理论就像一个以赌牌为生的老手快速清洗他那幅费曼图，直到带有无穷大的牌神秘地消失。

“这只是不明智的数学，”狄拉克曾说，“明智的数学是当一个量变得很小时可以忽略这个量——不忽略它是因为它是无穷大，而你并不需要它！”

然而，实验结果是不可否认的。20世纪50年代，费曼的重整化新理论（提供一种吸收无穷大的方式）允许物理学家以不可思议的精度计算氢原子的能级。没有其他理论能接近量子电动力学理论那惊人的计算精度。尽管该理论只适用于电子和光子（而不是弱力、强力或重力），但它惊人的成功不可否认。

在证明费曼的理论与施温格（Schwinger）和加来（Tomonaga）等价后，这三人在2006年分享了诺贝尔奖。事后看来，我们认识到，真正的成就是他们利用了麦克斯韦的规范对称性，这是在量子电动力学中神秘地消除无穷大的主要原因。这种一次又一次发现的对称性和重整化之间的相互作用是物理学重大的秘密之一。超弦理论有着物理学中从未发现过的最大的一组对称性，强大的对称性是超弦理论具有奇妙性质的核心原因。



重整化理论的失败

20世纪50—60年代，费曼的规则风靡物理学。美国顶级实验室的黑板曾经写满了稠密的方程，现在已被树和圆圈填满了。似乎每个人都突然变成了在纸片上涂鸦和构建组装式玩具般的图表的专家。物理学家推断，既然费曼定律和重整化在解决量子电动力学问题上如此成功，那么，它极可能再次成功，强力和弱力也可能被“重整化”。

事实上，费曼的规则不足以使强力和弱力的相互作用重整化。没有全面认识规范对称性的物理学家走进了数百条死胡同，他们全部失败了。

最后，经过了20年的混乱，在弱力相互作用中取得了关键突破。自麦克斯韦时代以来几乎100年了，自然力首次向着统一迈出了另一步。解决谜题的关键仍然是规范对称。



重整化与弱相互作用

弱相互作用涉及电子及名为“中微子”伙伴的行为。（弱相互作用粒子统称为“轻子”。）在宇宙的所有粒子中，中微子也许是最奇怪的，因为它是迄今为止最难找到的——它没有电荷，可能没有质量，且非常难以察觉。

中微子是沃尔夫冈·泡利（Wolfgang Pauli）在1930年基于纯粹的理论基础解释放射性物质中奇怪的能量损失做出的预测。泡利推测，丢失的能量被实验中看不到的新粒子承载。

1933年，伟大的意大利物理学家恩里科·费米（Enrico Fermi）发表了第一篇这种难以捉摸的粒子的综合理论，他称这个粒子为“中微子”（意大利语中的“小中立者”）。当然，由于中微子的想法源自推测，他的论文在初期遭到了英国自然杂志的拒绝。

众所周知，中微子实验非常困难，因为中微子非常有穿透力，且不会留下任何痕迹。事实上，它们可以轻易地从太空进入地球，穿透地球核心，进入我们的身体。每一秒，我们的身体都充满了这些中微子。如果我们整个太阳系都充满了固体铅，一些中微子仍然能穿透那可怕的屏障。

中微子的存在终于在1953年在一项困难的实验中得到证实。这项实验是研究核反应堆产生的巨大辐射。自中微子发现以来，多年来，发明者一直试图研究它的实际用途，最雄心勃勃的是建造中微子望远镜。

使用这种望远镜我们能直接探测数百英里厚的岩石，从而发现新的石油矿藏和稀有矿物。透过地壳和地幔，我们或许能发现地震的起源，并有可能预测到它们。中微子望远镜的想法非常好，但也存在一个问题：我们如何找到能停止中微子移动的摄影胶片？能穿透数万亿吨岩石的粒子，穿透摄影胶片应该非常容易。

［另一个建议是，制造一枚中微子炸弹。物理学家海因茨·佩尔斯（Heinz Pagels）写道，“这是和平主义者最喜欢的武器”。这样一个炸弹的造价与常规核武器无异，会呜咽爆炸，用大量中微子淹没目标区域。“在吓坏了所有人之后，中微子会无害地穿过一切物体。”］

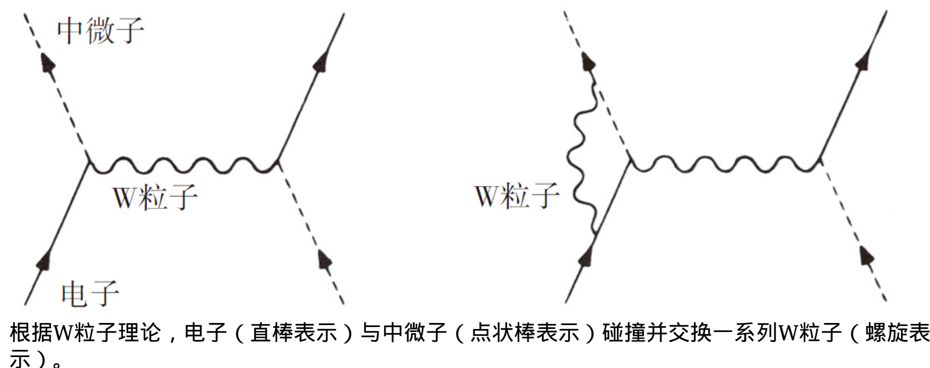
除了中微子，其他弱相互作用粒子的发现也渐渐加深了人们对弱相互作用奥秘的认识，例如“μ介子”。早在1937年，当人们在宇宙射线照片中发现这个粒子时，它看起来与电子极为相似，只是比电子重200多倍。似乎，它只是一个重电子。令物理学家感到不安的是，电子似乎存在一个无用的孪生兄弟——除了更重以外，它们没有区别。为什么大自然要创造一个电子的副本？哥伦比亚物理学家、诺贝尔奖获得者伊希斯多尔·艾萨克·拉比（Isidor Isaac Rabi）在谈到这个多余粒子的发现时，喊道，“谁下达的命令？”

更糟糕的是，物理学家在1962年使用了长岛布鲁克海文的原子破碎机向我们展示了μ介子有自己独特的伙伴，μ子中微子。1977—1978年斯坦福大学和德国汉堡的研究表明，还存在另一个多余的电子，它比电子质量重3500倍。人们将它称为τ粒子，它也有自己单独的伙伴，τ中微子。现在，有三种电子，每种都有自己的中微子，除了质量，每种都与电子族相同。3个多余的轻子对或3个轻子家族的存在动摇了物理学家对自然的简单性的信心。

面对弱相互作用的问题，物理学家使用了由来已久的技术：应用从以前理论窃取的分析类比创造新的理论。量子电动力学的本质是将电子之间的力解释为光子的交换。同样推理，物理学家推测电子和中微子之间的作用力是由一组称为W粒子（W代表“弱”）的新粒子的交换引起的。

产生的包含电子、中微子和W粒子的理论可以用三种组装式玩具来

解释：直棒（代表电子）、点状棒（代表中微子），螺旋（代表W粒子）以及接头相互作用。当电子与中微子相互作用时，它们只是交换了一个W粒子。



根据W粒子理论，电子（直棒表示）与中微子（点状棒表示）碰撞并交换一系列W粒子（螺旋表示）。

此外，经过一些练习，组装W粒子交换产生的数百个弱交互过程的费曼图并不难。

然而，问题是，这个理论不可标准化。不管费曼的把戏使用得多巧妙，该理论仍会被无穷大困扰。问题是W粒子理论本身存在一种基本缺陷——它没有麦克斯韦方程那样的规范对称性。

因此，弱相互作用理论被冷落了30年。不仅实验很难进行（因为众所周知的难以捉摸的中微子的原因），W粒子理论也不可接受。物理学家对这一理论进行了几十年的深入研究，也没能取得重大突破。



电弱理论的成功

1967—1968年，史蒂文·温伯格（Steven Weinberg）、阿卜杜斯·萨拉姆（Abdus Salam）和谢尔登·格拉肖（Sheldon Glashow）注意到光子和W粒子惊人的相似性。然后，他们发表了以下意见：尽管爱因斯坦曾试图将光与重力结合起来，也许正确的统一方案是将光子与弱相互作用的W粒子统一起来。这个新的W粒子理论叫电弱理论，与此前的理论有着决定性的不同，因为W粒子理论使用了当时可用的杨-米尔斯理论的最复杂形式的规范对称性。该理论于1954年被提出，比麦克斯韦具有更多的做梦也想不到的对称性。（我们将在第7章解释。）

杨-米尔斯理论包含了一种新的数学对称性[数学上表示为SU(2)×U(I)],这允许温伯格和萨拉姆在同一个基础上将弱力和电磁力结合在一起。这个理论将电子和中微子系统地处理为一个“家族”。就理论而言,电子和中微子实际上是同一枚硬币的两面。(然而,该理论并未解释为什么有三个多余的电子家族。)

尽管该理论在那个时代是最雄心勃勃和最先进的理论,但它并未引起太多人的注意。物理学家认为,它可能是不可标准化的,就像所有的其他死胡同,充满了无穷大。

温伯格在他的原始论文中推测,杨-米尔斯的W粒子理论可能是可重整化的,但没有人相信他。然而,这一切在1971年发生了变化。

在经历了30年的在W粒子理论中的无穷大痛苦之后取得了戏剧性的突破,24岁的荷兰研究生杰拉德·特·胡夫特(Gerard't Hooft)证明了杨-米尔斯理论可重整化。他仔细检查他的计算,显示无穷大消除了,胡夫特将计算放在电脑上。人们可以想象胡夫特在等待结果时的兴奋。他后来回忆:“那次测试的结果是1971年7月获得的,程序的输出是一个不间断的零的字符串。每一个无限都被完全消除了。”

几个月内,数百名物理学家争相学习胡夫特的这项技术和温伯格和萨拉姆的理论。第一次,实数而不是无穷大从S矩阵中涌出。早些时候,1968—1970年,物理学家没有一篇文章引用温伯格和萨拉姆的理论。然而,1973年,他们的研究结果的影响逐渐被大家认识,有162篇关于他们理论的论文发表。

不知何故,物理学家们仍未完全理解构建在杨-米尔斯理论中固有的对称性是如何消除无穷大的,如何解决了早期W粒子理论的无穷大问题。其原因是,对称和重整化之间惊人的相互作用(我们将在第7章中详述)。这也是几年前研究量子电动力学的物理学家们所做的发现的再现——对称性以某种方式消除了量子场论中的分歧。



格拉肖——革命的无政府主义者

史蒂文·温伯格(Steven Weinberg)和谢尔登·格拉肖(Sheldon Glashow)都来自纽约著名的布朗克斯科学高中,他们在那里是最好的朋友,并为科幻俱乐部杂志撰写文章。布朗克斯科学高中产生了三位诺贝尔物理学奖获得者——比世界上其他任何一所高中都多。

虽然温伯格和格拉肖得出了关于统一的同样的结论，但他们的气质却是相反的。他们的一个朋友告诉《大西洋月刊》，“史蒂文是保皇派，谢尔登是革命无政府主义者。史蒂文独立工作效果最好，谢尔登与他人合作效果最好。史蒂文敏感而私密，谢尔登好交友……”

格拉肖在他的风格中表现出的可能是一个疯狂的“革命的无政府主义者”，他达成想法的方式是不断地冒出新思想，很多都是疯狂和不可能的，但也有一些包括了物理学的真正突破。当然，他依靠别人的帮助否决坏思想，但他拥有许多人缺乏的创造本能。在理论物理学中，光有聪明是不够的，还需要创造力，奇怪的想法是科学发现必不可少的过程。

格拉肖喜欢发明新粒子颠覆物理学已有的基础。在他提出一个特别不寻常的粒子之后，他的合作者霍华德·乔治说，“这是格拉肖向物理学已有基础扔石头的另一种方式。”

格拉肖还有一个古怪教授的名声。在加来道雄还是哈佛大学的一名本科生时，他选修了格拉肖的一门经典电动力学课程。期末考试，当所有学生都在汗流浃背地完成这些问题时，格拉肖脱口而出，“哦！对了！第5个问题的答案我自己也弄不明白。如果你们有人找到了答案，请告诉我。”（班上的每个人都惊讶地互相盯着看。）

格拉肖在1979年因电弱理论获得诺贝尔奖，他在获奖感言中说：“1956年，我开始研究理论物理，基本粒子的研究就像用小块布缝缀的被罩。电动力学、弱相互作用和强相互作用是明显分开的，是单独教授和单独研究的学科。没有一个连贯的理论可对这一切进行描述。现在，情况变了。今天，我们有了一个被称为基础物理的标准理论，强、弱和电磁相互作用都能源自单一的原则。这个理论已成为了集成的艺术品，小块布缝缀的被罩已成为了一副挂毯。”



介子与强力

物理学家们被电弱理论的巨大成功冲昏了头脑，开始将注意力转向强力的解决。

会第三次取得成功吗？

规范对称性消除了QED和电弱理论的分歧。规范对称性也是消除强

相互作用中的无限性（无穷大）的关键吗？答案是肯定的，但是在持续了几十年的大量混乱之后。

强相互作用理论的起源可追溯到1935年，当时，日本物理学家汤川秀树提出，原子核里的质子和中子是通过称为“π介子”的粒子交换聚合在一起的。就像量子电动力学一样，电子和原子核之间的光子交换将原子结合在一起，汤川通过类比提出这些介子的交换将原子核结合在一起，他甚至预测了这些假设的粒子的质量。

汤川秀树第一个提出自然界中的短程力可以用大量粒子的交换来解释。事实上，汤川秀树的介子思想提供了原创灵感，使几年后的其他物理学家提出W粒子作为弱力的载体。

1947年，英国物理学家塞西尔·鲍威尔（Cecil　Powell）在他的宇宙射线实验中发现了介子。这个粒子的质量非常接近汤川秀树12年前的预测。由于汤川秀树在揭开强力奥秘时做的先驱工作，他在1949年获得了诺贝尔奖，鲍威尔获得了1950年的诺贝尔奖。

尽管介子理论取得了相当大的成功（还是可重整的），但它绝不是终点。20世纪50—60年代，物理学家利用各个国家实验室里的原子粉碎机发现了数百种不同类型的强相互作用的粒子——“强子”（包括介子和其他强相互作用的粒子，如质子和中子）。

数百个强子的存在使我们陷入困境。没人能解释在探测亚原子领域时为什么自然会突然变得复杂，而不是越来越简单。相比之下，20世纪30年代，事情似乎很简单——人们认为宇宙由四种粒子和两种力组成（电子、质子、中子、中微子，光和重力）。根据定义，基本粒子的数量应该很少，但20世纪50年代的物理学家被国家实验室发现的新强子淹没。显然，需要一种新理论在这种混乱中找出一些新道理。

诺贝尔奖获得者恩里科·费米观察了大量的新强子，每个都有一个奇怪的希腊名字，他曾哀叹，“如果我能记住所有这些粒子的名字，我一定会成为植物学家。”

罗伯特·奥本海默开玩笑地说，“诺贝尔奖应该颁给那年未发现新粒子的物理学家。”

至1958年，强相互作用粒子数量增长已非常快，以至于加州大学伯克利分校的物理学家出版了一份年鉴对其跟踪。第一本年鉴有19页，分类了16个粒子。1960年，粒子的数量大大增加，以至于出版了页码更厚的年鉴。至1995年，这份名单已超过了2000页，描述了几百个粒子。

汤川的理论虽然可以重整，但仍过于原始，无法解释实验室里出现的众多的粒子。显然，重整化是不够的。正如我们前面看到的W粒子理论中缺少的成分是规范对称性。经过几十年的困惑，利用规范对称性力量的同一经验也要用到强力上。



世界内部的世界

寻找类比的物理学家们会想起19世纪化学家曾面临的困惑。那时，化学家问我们，已知存在的数十亿种化合物怎么可能完全理解。第一次突破发生在1869年，俄罗斯化学家德米特里·门捷列夫展示了这些化合物可以被还原成一组简单的元素，被安排在门捷列夫周期表的美丽图表中。每个高中生都在化学课上学习过这张图表，它使混乱变得有序。

当时的门捷列夫仅列出了60种元素（今天已知有100多种）。他在表上留下了很多“洞”，以预测尚未被发现的新元素的存在和性质。这些丢失的元素被实际发现恰好出现在门捷列夫预测的地方，证实了门捷列夫周期表的正确性。

20世纪30年代，量子物理学家展示了周期表可用服从量子力学定律的3个粒子来解释——电子、质子和中子。当然，将几十亿个化合物减少到周期表中大约100个元素，最后降至3个粒子是我们理解自然的重大飞跃。

现在的问题是：同样的技术能否用到我们实验室中发现的数百个强子？关键问题是，找到一种对称性使数据有意义。

20世纪50年代，第一个重要的观察由一群日本物理学家做出，最直言不讳的发言人是名古屋大学的日本物理学家坂田昌一。坂田昌一小组引用黑格尔和恩格斯的哲学著作，声称强子应由这些粒子中的3种组成，介子应该由这些粒子中的2种组成。他的小组甚至提出，亚粒子服从一种新的对称类型，叫做SU（3），它描述了3个亚核粒子的混合方式。这种数学对称性SU（3）允许坂田昌一小组对强子的下层进行精确的数学预测。

坂田学派的哲学和数学上的理由是物质应由无限组的子层组成，这也被称为世界内的世界或洋葱理论（有时）。根据辩证唯物主义，物理现实的每一层都是由两极的相互作用创造。例如，恒星和恒星相互作用形成星系；行星和太阳相互作用产生太阳系；原子之间的相互作用产生分子；电子和原子核相互作用产生原子；最后，质子和中子相互作用产生原子核。

然而，当时的实验数据太粗糙，无法检测他们的预测。在20世纪50年代，人们对这些奇异粒子的特殊性质的认识还不足以证实或否定坂田

学派的理论。

20世纪60年代初，认为强子之下存在亚层的想法出现了下一个突破，当时加州理工学院的莫里·盖尔曼（Murray Gellmann）和以色列物理学家尤瓦尔（Yuval Neoman）表明这数百个强子以“8”的模式出现，很像门捷列夫的周期表。盖尔曼异想天开地称这个数学理论为“八重法”。他在八重法表上寻找“漏洞”，像他之前的门捷列夫一样，盖尔曼可以预测尚未被发现的粒子的存在甚至特性。

如果八重法可与门捷列夫周期表相媲美，那么，构成周期表中原子的电子和质子的对应物是什么？

后来，盖尔曼和乔治·茨威格（George Zweig）提出了完整的理论。他们发现八重法的出现是因为亚核粒子的存在（盖尔曼称之为“夸克”，出自詹姆斯·乔伊斯的《芬尼根的觉醒》），这些粒子遵循坂田学派几年前提出的对称性SU（3）。

盖尔曼发现，通过简单地组合三个夸克可以奇迹般地解释在实验室中发现的数百个粒子，更重要的是预测新粒子的存在。（盖尔曼的理论，虽然在许多方面与坂田的理论类似，但使用了与坂田稍许不同的组合，纠正了坂田理论中一个小且重要的错误。）事实上，通过适当组合3个夸克，盖尔曼能描述几乎所有在实验室里出现的粒子。由于他对强相互作用的物理学的贡献，盖尔曼于1969年获得诺贝尔奖。

与夸克模型一样成功的是，它留下了一个喋喋不休的问题：能解释将这些夸克聚集在一起的力的令人满意的可重整化理论在哪儿？因此，夸克理论仍然是不完整的。

量子色动力学

与此同时，20世纪70年代早期，充满激情的温伯格和萨拉姆的电弱理论也影响到了夸克模型。自然的问题是：为什么不试试用对称性和杨-米尔斯场消除分歧？

虽然结果尚无定论，但今天有一种实际上的普遍认识，认为杨-米尔斯理论奇妙的性质和对称性可以成功地将夸克束缚到可重整的框架中。在某些情况下，一个被称为“胶子”的杨-米尔斯粒子可以表现得好像是黏性的胶状物质将夸克黏合在一起。这就是所谓的“色”力，由此产生的理

论为“量子色动力学”（简称QCD ），这个理论被广泛认为是强相互作用的最终理论。初步的计算机程序表明杨-米尔斯场的确束缚了夸克。

随着杨-米尔斯理论和量子色动力学的成功，物理学家问：自然真的如此简单吗？到目前为止，物理学家陶醉于成功。使用规范对称（以杨-米尔斯理论的形式）来创建可重整化的理论的神奇的公式，似乎是某种成功的药方。

下一个问题是：会取得第四次成功吗？能够创建一个强、弱和电磁相互作用的统一理论吗？答案似乎仍然是肯定的。

5　寻找顶夸克

1994年7月，物理学家在全世界的实验室中举起香槟，难以捉摸的“顶夸克”终于被人们发现。新闻稿发布时，芝加哥郊外的费米国家实验室的物理学家几乎不能抑制他们的兴奋。

《纽约时报》立刻在头版位置大肆宣传这个胜利。在最近的记忆中，全国性报纸的首页还出现过新的亚原子粒子的报道。突然，数百万对原子完全不了解（甚至对原子没有兴趣）的人开始发问，“什么是顶夸克？”

纽约的NBC电视新闻随机询问镇上的人是否知道什么是顶夸克。（经过一些滑稽的猜测，一个人做出了令人惊讶的准确的现场回答。）喜剧演员开始将顶夸克变成他们的替身，顶夸克是第一个在15分钟内就获得名声的粒子！



寻找脚趾夸克

顶夸克成为最重要的夸克的原因是，它是完成“标准模型”所必需的最后一个夸克，此“标准模型”是当前的和最成功的粒子相互作用理论。对粒子物理学家来说，这个理论是半个世纪以来解开亚原子之谜的艰苦努力所取得的最终最高成就。粒子物理学这章结束了，物理学的新篇章开始了。

自1977年以来，在费米国家实验室发现“底夸克”后不久，物理学家一直在寻找这种难以捉摸的粒子。然而，在过去的15年，未能探测出更重的顶夸克的存在。物理学家越来越紧张，如果顶夸克不存在，基本粒子物理学将会像一座纸牌房子那样坍塌。在国际粒子物理学家会议上，这似乎成了一个笑话，一次又一次的实验都没能找到顶夸克。

正如诺贝尔奖获得者史蒂文·温伯格所说，“大量的理论认为，顶夸克一定存在。如果不是这样，很多人会感到尴尬。”

为了捕捉顶夸克，费米实验室的兆电子伏特的粒子加速器，产生了两条高能亚原子粒子光束绕着一个大的圆形管道回旋，但是在相反的方向行进。第一束由普通质子组成；另一束以相反的方向在第一束的下面

行进，由反质子（质子的反物质孪晶，携带负电荷）组成。然后，加速器合并这两个循环光束，将质子以接近2万亿电子伏特的能量粉碎反质子。这样，突然碰撞释放出的巨大能量泄出一股亚原子洪流。

使用一组复杂的自动照相机和计算机，物理学家随后分析了超过10000亿张碎片的照片。肉眼看来，这些照片像蜘蛛网，从一个点发出长的弯曲的纤维。对训练有素的眼睛来说，这些纤维代表了亚原子粒子在碰撞中爆炸发出的轨迹。随后，物理学家团队仔细研究数据，筛选照片，直到选择了有顶夸克碰撞“指纹”的12次碰撞。

物理学家随后估计，顶夸克的质量为1740亿电子伏特，它成为了有史以来人们发现的最重的基本粒子。事实上，它非常重，几乎和金原子一样重（包含197个中子和质子）。相比之下，底夸克的质量仅为50亿电子伏特。

考虑到巨大的风险，以及需要大量数据证实它的存在，费米实验室的物理学家小心翼翼地说，他们的顶夸克的证据并不确凿。事实上，顶夸克是如此巨大和难以捉摸，以至于需要来自36个机构的440多名科学家英雄般的努力去抓住它。（这引发了关于需要有多少物理学家拧紧夸克灯泡的笑话。）即便如此，他们仍然含糊其辞地打赌，他们有0.25%的概率是错的。

该集团的发言人之一，威廉·卡里瑟斯承认，“我们处于中间地带，我们看见的事件过多，不能忽视且又太小，不能说找到了。”

8个月后，该小组和使用同一加速器的竞争小组联合宣布，“所有疑问都已消除，总计拍摄到38张顶夸克碰撞的照片，顶夸克终于被捕获了。”



几代夸克

为了理解找到顶夸克的重要性，我们需要知道夸克有几对，或称“几代”。最低的一对被称为“上”和“下”夸克。当3个这些轻夸克结合在一起，我们找到了熟悉的构成可见宇宙，包括我们体内的原子和分子的质子和中子。（3个夸克组成了质子和中子。例如，质子由2个上夸克和1个下夸克组成，中子由2个下夸克和1个上夸克组成。）每组上和下夸克又有3种不同的“颜色”，总共6个夸克构成了第一代。（这种“颜色”与熟悉的颜色概念无关。）

下一对较重的夸克被称为“奇异”夸克和“粲”夸克。当它们结合在一起时，会形成许多粉碎原子所产生的碎片中发现的重的碎片。这些夸克也有3种颜色。

物质最深的秘密之一是，为什么第一代和第二代夸克几乎都是彼此的复制品（即使今天，也不能理解）。除了第二对比第一对重以外，事实上，它们几乎具有相同的属性。奇怪的是，从根本上说，大自然在构造宇宙时，竟然能接受高度无用的冗余。

1977年，底夸克的发现意味着一定有第三代多余的夸克和一个缺失的顶夸克填满第三对。因此，标准模型的基础是基于三代夸克，每一代与上一代都是相同的，除了质量之外。

今天，物理学家说，夸克有6种“味道”［上、下、奇异、粲、底和顶］以及3种颜色，这就产生了18种夸克。每个夸克也存在一个反物质孪晶。当我们加入反夸克时，夸克的总数可达到36个。（这个数字比20世纪30年代发现的亚原子粒子总数还多。当时，许多物理学家认为，电子、质子和中子足以描述宇宙中的所有物质。）



标准模型

目前，没有实验偏离标准模型。因此，这可能是在科学史上被提出的最成功的理论。然而，大多数物理学家发现标准模型不吸引人，因为它异常丑陋不对称。（关于物理学对称性的更详细讨论，见第7章。）因为实验非常成功，大多数物理学家认为标准模型只是通向真正的万物理论的中间步骤。原因是标准模型很丑陋，它是通过蛮力将电磁力、弱力和强力黏合在一起形成的理论。想想，尝试将显然不合适的三块拼图强行拼在一起，拼接它们的带子就是标准模型。

为了理解这个理论有多丑陋，让我们总结一下各种零件是如何装配在一起的。

首先，强相互作用用36种夸克描述，得出6种口味，3种颜色，以及物质/反物质对。将它们黏合在一起形成质子和中子的“胶水”是胶子（由杨-米尔斯场描述），总共有8个胶子场。综合起来，这个理论被称为量子色动力学，或“色”相互作用理论。

弱相互作用也有类似的生成问题。第一代有电子和中微子，第二代

有μ子和它的中微子，第三代有τ粒子及其中微子。这些粒子被统称为“轻子”，它们是在强相互作用中被发现的夸克的对应物。这些轻子反过来通过交换W粒子和Z粒子（它们是巨大的杨-米尔斯场）相互作用，总共有四种这样的粒子。

然后是电磁相互作用，这是由麦克斯韦场调节的。

最后，还有一种“希格斯粒子”（一种允许我们打破杨-米尔斯场对称性的粒子）。除了希格斯粒子之外，其他粒子都是在原子粉碎机中发现的。

目前，物理学家探测亚原子粒子的相互作用已超过10000亿电子伏特，未发现任何实验偏离标准模型。然而，尽管这个理论具有无可否认的成功，但它没有吸引力。我们知道，它不能成为最终的理论，因为：

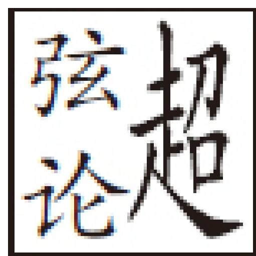
1．它有如此奇异的夸克、轻子、胶子、W粒子和Z玻色子。

2．夸克和轻子都有整整三代，它们不能被区分（除了它们的质量）。

3．它有19个任意参数，包括轻子的质量，W粒子和Z玻色子的质量，强相互作用和弱相互作用的相对强度等。（标准模型不确定这19个数字的值。它们是在模型中无正当理由地临时插入的，且是通过仔细测量这些粒子的性质被确定。）

作为一个指导原则，爱因斯坦总会问自己这个问题：如果你是上帝，你会如何构建宇宙？当然不是用19个可调参数和一大群多余的粒子。理想情况下，你只需要1个可调整参数（或者没有可调参数），只用1个对象构造自然界中所有的粒子，甚至可能是空间和时间。

通过类比，我们看门捷列夫周期表，以及它的100多种元素集合，这是“上个世纪的粒子”。没人能否认门捷列夫周期表在描述物质的构造砖块上取得的成功。但事实上，它是随机选择的，有数百个任意常数，因此是不吸引人的。今天，我们知道，整个表可以用3个粒子来解释——中子、质子、电子。同样，物理学家认为，标准模型存在奇怪的多余夸克和轻子，应该由更简单的结构构成。



GUT和重整化

将这些粒子彼此重组的最简单的理论叫做SU（5），是哈佛大学霍华德·乔治（Howard Georgi）和谢尔登·格拉肖（Sheldon Glashow）在1974年提出的。在这个“大统一理论（GUT）”中，电子、中微子和夸克通过SU（5）对称连接。相应地，光子，弱相互作用的W粒子，以及强相互作用的胶子拼凑在一起形成另一个力的家族。

因为强相互作用与电弱力联合的能量超出了我们现在的粒子加速器的范围，所以GUT理论很难被检验。尽管如此，GUT理论确实做了一个惊人的可用今天的技术测试的预测。

这个理论预测夸克可以通过发射另一个粒子变成电子。这意味着质子（由3个夸克组成）最终会衰变为电子，且质子的寿命是有限的。GUT理论的这个认为质子最终会衰变为电子的惊人的预测，已促使全世界新一代的实验物理学家努力测试。（虽然几组实验物理学家用埋在地球深处的探测器正寻找质子衰变的证据，但目前还没有人能决定性地确定质子的衰变。）

回想起来，尽管GUT理论代表了一种非凡的进展，将电弱力和强力统一起来，但存在严重的实验问题。例如，除了质子衰变实验之外，很难甚至不可能直接测试GUT理论。

更重要的是，GUT理论在理论上也不完整。例如，它未解释为什么有这些粒子族（电子、μ和τ）的3个副本。此外，数十个任意常数（例如夸克的质量，轻子的质量和希格斯粒子的数量）贯穿整个理论。那么多未定的参数使GUT理论类似于鲁伯·戈德堡装置。对物理学家来说，一个理论具有如此多的未定参数，实在让人难以相信。）

然而，尽管GUT理论存在问题，物理学家仍然希望这个理论取得成功。一个简单的规范理论（如杨-米尔斯理论）会产生重力理论吗？

答案是否定的，尽管规范理论取得了很多成功，但在处理重力时撞上了砖墙。杨-米尔斯的形式体系仍然太原始，无法解释重力。这也许指向了GUT理论的最根本问题——尽管它很成功，但不能包含重力的相互作用。

在新思想诞生之前，在这一领域进展缓慢，新思想的建立是基于比杨-米尔斯理论更大的对称性。这个理论是超弦理论。

Part Ⅱ SUPERSYMMETRY AND SUPERSTRINGS
第二部分 超对称和超弦

6 超弦理论的诞生

超弦理论在科学编年史上也许有着最奇怪的历史。除此之外，我们找不到一个理论，它的提出竟是作为错误问题的解决方案，被放弃了10多年后又作为宇宙理论复活了。

超弦理论始于20世纪60年代，在杨-米尔斯理论和规范对称性繁荣之前，重整化理论作为一个被无限困扰的理论仍处在挣扎中的时候。

重整化理论似乎是人为的，受到了强烈的反对。对立的学派是由加州伯克利大学的杰弗里·丘（Geoffrey Chew）领导的，他提出了一个独立于基本粒子、费曼图和重整化的新理论。

丘的理论不是假设一系列复杂的规则来详细说明某些基本粒子如何通过费曼图与其他粒子相互作用，这个理论只要求S矩阵（数学上描述粒子的碰撞）是自我一致的。丘的理论假设S矩阵遵循严格的一组数学性质，然后假设这些属性非常严格，以至于只有一种解决方案是可能的。这种方法通常被称为“自举”法，因为从字面上说，是靠自己的力量自举起来的（从只有一组假设开始，然后从理论上只用自我一致推导答案）。

因为丘的方法完全基于S矩阵，而不是基于基本粒子或费曼图，这个理论被称为“S矩阵理论”（不要与所有物理学家都使用的S矩阵本身混淆）。

这两种理论，量子场论和S矩阵理论，是基于对“基本粒子”意义的不同假设。量子场论是基于所有物质都可以由一小组基本粒子构成这样的假设；S矩阵理论是建立在无穷多个粒子基础上的，没有基本粒子。

回顾过去，我们看到超弦理论结合了S矩阵理论和量子场论最好的特点，这两个理论在许多方面是对立的。

超弦理论类似于量子场论，因为它是以物质的基本单位为基础的。然而，超弦理论不是基于点粒子，而是通过打破和改造类似于费曼的图表来相互作用的弦。超弦理论超越量子场论的显著优势是，不需要重整化。所有的每一级的循环图表或许都是有限的，不需要人为去掉无穷大。

超弦理论类似于S矩阵理论，可以容纳无限数量的“基本粒子”。根据这个理论，自然界中发现的多样的粒子只是同一根弦的不同共振，不存在比任何其他粒子更基本的粒子。然而，超弦理论超越S矩阵理论的显著优势是，它能计算最终得到S矩阵的数字。（相比之下，S矩阵理论极难计算和提取可用数字。）

因此，超弦理论结合了S矩阵理论和量子场论两者的优点，因为它是基于物理图像的理论。

同时，超弦理论不同于S矩阵理论或量子场论，它们是基于多年的耐心发展，1968年出乎意料地出现在物理学界。超弦理论的发现则完全偶然，而非一系列逻辑思维的结果。



猜测答案

1968年，当S矩阵理论仍然流行时，两个年轻的物理学家加布里埃尔·威尼斯诺（Gabriele Veneziano）和铃木子彦（Mahiko Suzuki）各自独立在日内瓦郊外的欧洲核子研究中心工作。他们都对自己提出了一个简单的问题：如果S矩阵是超级矩阵，那么，为什么不试着猜猜答案？他们翻阅了大量自18世纪以来由数学家给出的数学函数，偶然发现了贝塔函数，这是由19世纪的瑞士数学家利昂哈德·欧拉（Leonhard Euler）率先写下的美丽的数学公式。令他们惊讶的是，通过对贝塔函数特性的研究，他们发现它自动满足几乎所有丘的S矩阵假设。

这太疯狂了。强相互作用物理的解，可以用100多年前的一位数学家写下的简单公式求得？这么简单吗？

随机翻阅一本数学书就做出了重大科学发现，这在科学史上从未有过。（也许，威尼斯诺和铃木太年轻，无法理解他们随机发现的可能性，这一事实帮助他们找到了贝塔函数。年纪更大、偏见更深的物理学家或许会从一开始就摒弃使用旧的数学书。）

欧拉公式在20世纪物理学世界一夜成名——S矩阵理论对量子场论取得了明显胜利。数百篇论文试图使用贝塔函数拟合从原子碎片中涌出的数据。许多论文是为了解决最后剩下的丘的假设，即贝塔函数不服从单一性或概率守恒。

很快，有人提出了更复杂的理论，与数据符合更好的理论。在普林

斯顿大学工作的约翰·施瓦茨（John　Schwarz）和法国物理学家安德烈·内沃（Andre　Neveu），以及在芝加哥附近的国家加速器实验室工作的皮埃尔·雷蒙（Pierre　　Ramond）提出了一个理论，其中包括带有“旋转”的粒子（最终成为超弦理论）。

尽管贝塔函数很了不起，但也留下一个令人困扰的问题——这个公式的奇妙特性只是个意外，还是源于更深的更多的物理基础结构？答案在1970年确定，芝加哥大学的一郎南布（Yoichiro　Nambu）证明了神奇的贝塔函数是由相互作用的弦的性质决定的。



南布模式

与爱因斯坦喜欢对华而不实的社交礼仪嗤之以鼻不同，与费曼喜欢恶作剧和物理学中可怕的顽童盖尔曼不同，南布以安静、彬彬有礼著称。他很有日本人的传统特色，比较保守。一些人说他有思想，比通常的粗鲁的西方同事更高雅。在杂乱无章的思想市场，原始的某些物理思想的荣誉受到小心翼翼的保护，但南布有一种令人耳目一新的不同风格，他喜欢让自己作品的价值不言自明。

然而，这也意味着，尽管他参与了一些物理学最基本的发现，但他不会声称是自己先发现的。在物理学中，通常是根据普遍共识将名字与发现联系在一起，即便在历史上不是完全正确。例如，著名的描述两个电子系统行为的“Bethe-Saltpeter”方程，首先是南布发表的。同样，南布首先发表了许多早期的“自发对称性崩溃”的思想，但多年来，一直被称为“戈德斯通”定理。直到最近，它才被恰当地称为“南布-戈德斯通”定理。然而，对于弦理论，显然是南布写下了它的基本方程。

为什么他的一些杰出成就未立即得到认可，因为他的思想通常领先于他的时代。如同他的同事西北大学的劳里·布朗（Laurie　Brown）博士注意到的，“南布是一名开拓者，他的创新为突破设置了舞台，通常在其他人实现这些创新之前几年甚至几十年。”物理学界有句谚语，“如果你想知道未来10年的物理会是什么样子，请阅读南布的著作。”

在1985年的一次演讲中，南布试图总结过去导致了突破性发现的伟大的物理学家使用的思维方式，南布称他们为“汤川模式”和“狄拉克模式”。汤川模式根深蒂固地扎根于实验数据，汤川通过仔细分析可用的数据得出了他对介子作为核力载体的开创性想法。然而，狄拉克模式在数

学逻辑上是狂野的、推测性的飞跃，导致了惊人的发现，例如狄拉克的反物质理论或单极子理论（一个代表单极磁性的粒子）。爱因斯坦的广义相对论符合狄拉克模式。

1985年，南布65岁生日庆典，总结了他的巨大科学成就，他的同事为纪念他创造了另一种思维方式，“南布模式”。这种模式结合了两种思维方式的最佳特性，试图通过提出富有想象力、才华横溢，甚至疯狂的数学去仔细解释实验数据。超弦理论在很大程度上源于南布的思考模式。

或许，南布的一些风格可以追溯到他祖父以及他父亲所代表的东西方影响的碰撞。1923年，东京发生灾难性地震，南布一家定居在福井小镇，佛教新蜀派的所在地。南布的祖父通过出售宗教物品以支持家庭，例如家庭纪念祖先的神殿。南布的父亲不顺从祖父的这个方式，多次离家出走。作为一名知识分子，南布的父亲被西方文化迷住了，最终以英国文学为专业毕业，写下了他关于威廉·布莱克（William Blake）的论文。

南布在这个家庭长大，既受到了传统主义的祖父主导，也受到了奇怪的来自西方的知识风的影响。当军国主义20世纪30年代在日本兴起时，整个家庭都受到了伤害。正如布朗博士指出的：

> 南布的父亲有自由主义和国际主义的观点，在那些日子里，在政治上很谨慎地保持自我。他订阅了几本Yoichiro出版的一系列廉价书籍（所谓的日元书籍）。这些书包括外国小说、现代日本文学，以及马克思主义经典著作。后者甚至在20世纪30年代受到了严格审查。当时，拥有这样的书将会使自己变得危险，但南布的父亲保留了一些下来。

小时候，南布像费曼和许多其他人一样对科学表现出兴趣，摆弄小型无线电接收器。他在东京大学读书时，被西方海森堡等人正发展的新量子力学的故事迷住了。然而，南布痛恨笼罩着这个国家的军国主义气氛。

1945年，日本惨败，日本人民开始了重建国家的痛苦过程。南布被任命在东京大学工作。在这里，有不少如友永一郎（Shinichiro Tomonaga）这样的日本物理学家，受战争的影响他们的工作曾一度与西方同行们隔绝，现在开始慢慢恢复起来。

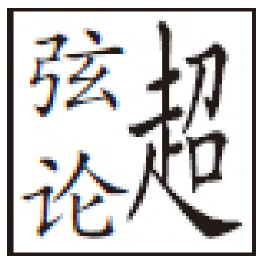
普林斯顿物理学家弗里曼·戴森捕捉到令人愉快的惊喜：西方物理学家知道了在日本取得的进展，他写道：

> 友永一郎简单透彻地没有任何数学地阐述了朱利安·施温格（Julian Schwinger）理论的核心思想，其中的含义令人吃惊。不知何故，友永一郎在与世隔绝的情况下，在战争的废墟上，在日本维持了一所理论物理研究学院，该学院在某些方面

> 甚至领先于在那个时代的任何别处的学院。他独自向前推进，比施温格提前5年奠定了新量子电动力学的基础……

南布的工作最终引起了普林斯顿高级研究所所长罗伯特·奥本海默的注意，他邀请他来研究所待了2年时间。南布于1952年离开日本，为遇到一个“正常”的社会而感到震惊。（东京，由于大规模燃烧弹的袭击，甚至大于广岛遭受的损失。）1954年，他参观了芝加哥大学，自1958年以来他一直是那里的教授。

南布柔和、含蓄的风格与费曼直言不讳的态度在1957年的纽约罗切斯特的罗切斯特会议上形成了鲜明对比。那时，他提交了一篇《假设新粒子存在或共振（同位旋介子）》的论文。在南布发表演讲时，费曼回应：“在猪眼里！”（然而，几年后，当这个粒子在原子粉碎机中被发现时，这个问题解决了，并被命名为“欧米伽介子”。）



南布的弦

南布最初提出弦的概念是为了在国家实验室里发现的数百个强子的混乱中找出某些意义。显然，这些强子在任何意义上都不可能被认为是“基本的”。南布认为，强相互作用物理学的混乱一定是一些潜在结构的反映。

几年前，他的同事汤川和其他人，如海森堡，提出了一个建议，“认为基本粒子并不是点，而是脉动和振动的‘斑点’。”多年来，所有建立在斑点、薄膜和其他几何物体基础上的量子场论的努力都失败了。这些理论最终都违反了一些物理原理，比如，相对论（如果斑点在某点被摇动，振动会以比光还快的速度穿过斑点）。

南布的开创性想法是，假设强子由振动弦构成，每种振动模式对应于一个独立的粒子。（超弦理论不会违反相对论，因为沿着弦的振动，传播速度只能小于或等于光速。）

想想，与小提琴弦的类比。这么说吧，我们得到了一个产生音乐音调的神秘盒子。如果我们对音乐一无所知，会首先尝试将音调编目，给它们起名字，如C、F、G等。我们的第二个策略是，发现这些音调之间的关系，例如可观察到它们以八度为一组出现。从这里，我们能发现和谐的法则。最后，我们会努力假设一个“模型”，用一个单一的原理解释和声和音阶，如一根振动的小提琴弦。同样，南布相信，威尼斯诺和铃

木发现的贝塔函数可以用振动弦来解释。

剩下的一个问题是，解释弦相撞时发生了什么。因为弦的每个模式代表一个粒子，了解弦如何碰撞允许我们计算普通粒子相互作用的S矩阵。在威斯康辛大学工作的三个物理学家，布尼·萨基塔（Bunji Sakita）、菊治（Keiji Kikkawa）和米格尔·维拉索罗（Miguel Virasoro kawa）推测丘的S矩阵的最后剩下的假设（统一性）可以用重整化理论解决这个假设的同样方法满足：通过添加循环。换句话说，这些物理学家建议，重新引入这些弦的费曼图。（在这点上，许多S矩阵理论者感到沮丧。这个异端想法意味着重新引进循环和重整化理论，这是S矩阵理论所禁止的。这对于S矩阵阵营里的纯粹主义者来说非常不友好。）

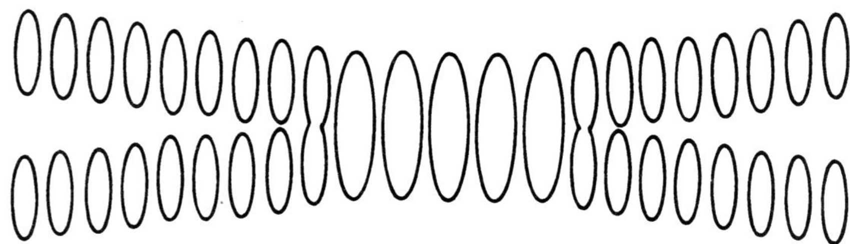
他们的提议最终被我们中的一个（加来道雄）和一个合作者（余乐平）完成了。当时，他们是加利福尼亚伯克利大学的研究生，一起工作的还有加州大学伯克利分校的克劳德·洛夫莱斯，以及那时在欧洲核子研究中心的阿根廷物理学家亚历山德罗尼。

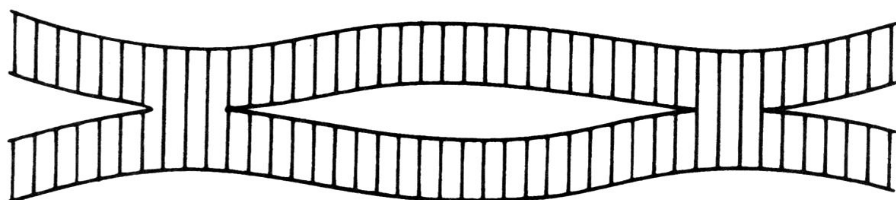


折纸的乐趣

弦有两种类型：开放的弦（有端点）和封闭的弦（圆形）。为了解弦是如何相互关联的，想想代表点粒子费曼图的组装式玩具。当粒子移动时，它会创建一条线，以一根组装式玩具棒为代表。当粒子碰撞时，它们形成Y形线，碰撞以组装式玩具结合点为代表。

类似地，当开放的弦移动时，它们的路径可以被可视化为长纸条一样。当封闭的弦（圆形）移动时，它们的路径可以被想象成纸管，而不是线条。因此，我们需要用折纸代替组装式玩具。





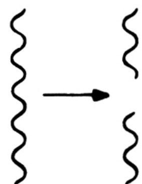
在图A中，两个封闭的弦从左边进入，在中间形成一个单独的弦，然后它被分成两半形成两个弦。在图B中，两个开放的弦从左边进入，合并、断开、合并、再断开成两个弦向右移动。

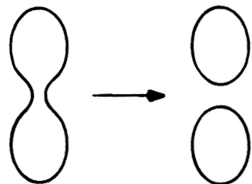
当这些纸条碰撞时，它们平滑地合并为另一张纸条。同样，我们有一个Y形接头，但形成Y形的线是条状的，而不是棒状的。

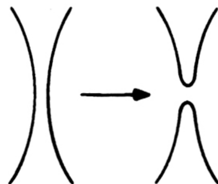
这意味着物理学家们不是在黑板上乱写乱画，而是想象碰撞的纸带和纸管。（加来道雄记得和自己的伯克利导师斯坦利·曼德尔的一次谈话，他用剪刀、胶带和纸张解释两个弦如何碰撞、重新形成和创建新的弦。这个纸的结构最终演变成一幅重要的超弦的费曼图。）

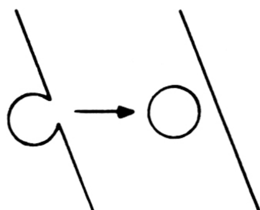
当两个弦碰撞并产生S矩阵时，我们使用下面给出的费曼图。

这些相互作用的场论是由加来道雄和菊治（Keiji Kikkawa）在1974年完成的。他们展示了整个超弦理论可以概括为基于弦，而不是点粒子的量子场。只需要5种类型的相互作用（或接头）即可描述弦理论：





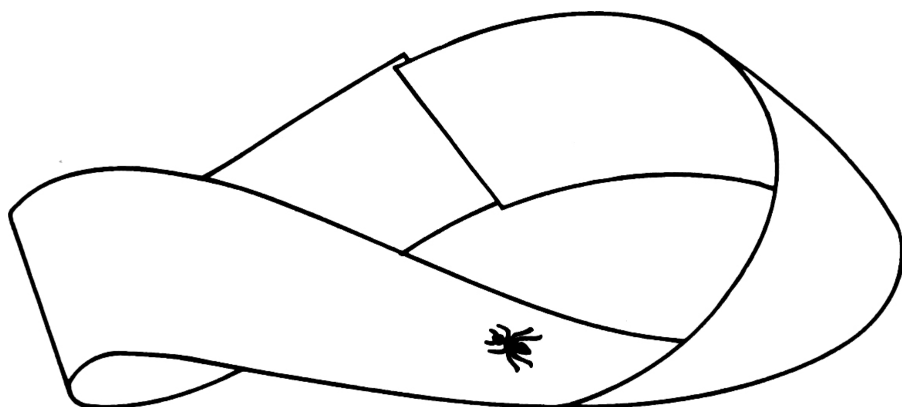






这里展示了五种类型的弦交互作用。在图A中，弦拆分并创建两个较小的弦；在图B中，闭合弦夹住并产生两个较小的弦；在图C中，两个弦碰撞并重新形成两个新的弦；在图D中，单个开放弦重新形成并创建一个开放的弦和一个封闭的弦；在图E中，开放的弦的末端接触并创建一个闭合的弦。

我们将这些费米图推广到“环”来检验这个理论。和以前一样，当弦形成循环时，费米图上所有的分歧（如果有的话）都会出现。在普通的重整化理论中，我们被允许重组这些分歧和使用其他技巧来消除它们。然而，在引力理论中，这种重组是不可能的，序列中的每一项必须是有限的。这就给该理论带来了巨大的限制，单一的无限图会破坏整个程序。结果，几十年来，物理学家对能够消除这些无限性一直感到绝望。

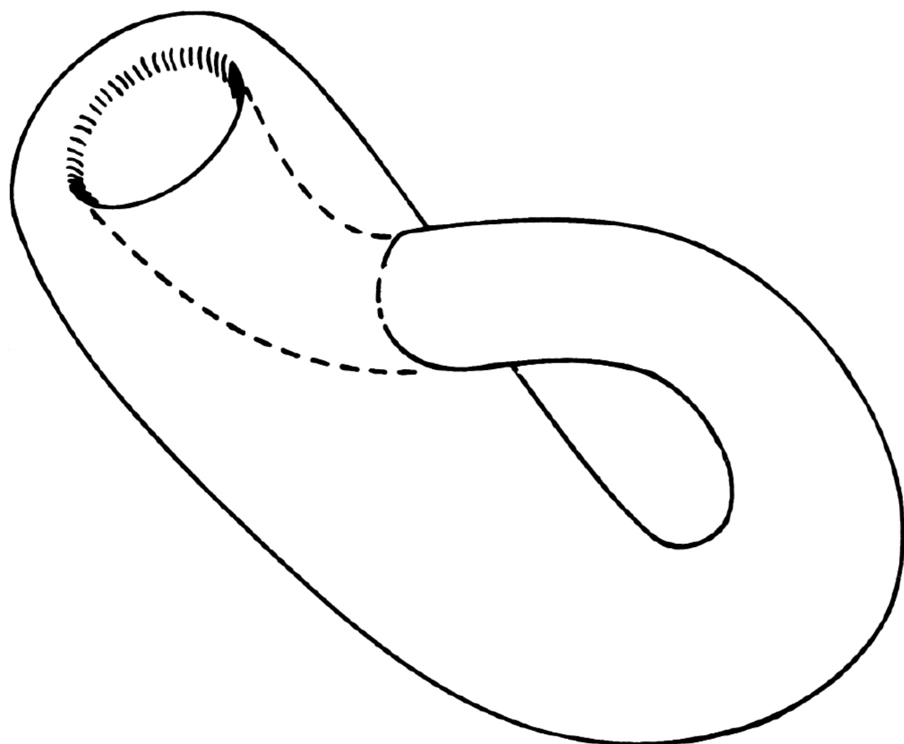


莫比乌斯带表示碰撞开放弦的单环费曼的几何形状。

令人惊讶的是，人们知道交互弦的费曼图是有限的。出现一系列惊人的消除，似乎消除了所有潜在的无限项，产生了有限的答案。

证明超弦理论没有分歧需要一些最奇怪的几何结构。例如，在一个

简单的单循环图中，费曼图的内部是由圆形条或管表示。



克莱因瓶代表碰撞闭合弦单环费曼图的几何形状。

然而，完整的理论要求纸带或管子被扭曲。如果我们扭曲一条圆形的带子，会得到一个叫做莫比乌斯带（只有一面的带）的几何对象。每人都知道，一条纸带有两面。然而，如果我们扭曲一边，然后将两边粘在一起，我们能得到一个单面带。一只沿着这条带内侧移动的蚂蚁很快会发现自己正在向外面行走。类似地，当扭转一根圆管，我们能得到一个更奇怪的叫克莱因瓶的物体，它的二维表面只有一侧，每个人都知道空心管有两个侧面——内侧和外侧。然而，如果我们将管子的一端扭转180度，然后通过连接这两端扭曲管子，我们可得到一个克莱因瓶。

历史上，莫比乌斯带和克莱因瓶只不过是几何奇趣，没有实际应用。然而，对弦物理学家来说，两者都是含有环路的费曼图的一部分，是为了消除分歧的基本。



超弦理论的死亡

虽然超弦理论是一个美丽的数学公式，似乎适合一些强交互数据，但这个模型有着令人沮丧的困难。

首先，该理论预测了太多的粒子。这个理论有像“引力子”（引力的量子包）和光子（光包）一样的粒子。事实上，闭合弦的最低振动对应于重力，开放弦的最低振动对应于光子。

对于一个描述强相互作用而不是重力或电磁作用的理论，这是灾难性的。在强相互作用理论中，引力子和光子有什么作用？（事实上，这是一种变相的幸事，但当时的人们并未认识到。在弦理论中，引力和光的相互作用正是形成统一场论的必需。）

其次，这个理论似乎预测了“超光速粒子（tachyons）”的存在，是比光速更快的粒子。这些粒子是不可取的，因为它们暗示违背因果关系——也就是说，回到过去，遇见生你之前的母亲。

第三，也是最具破坏性的，物理学家很快发现，最初的南布理论仅在二十六维上是自洽的。（对任何理论来说，不一致就接近死亡。例如，如果一个理论不一致，它最终会做出荒谬的预测，例如，1＋1＝3。）

欧洲核子研究中心的克劳德·洛夫莱斯（Claude Lovelace）首先发现了在二十六维似乎有更好的数学结构的弦模型。然后是麻省理工学院的理查德·布劳尔（Richard　Brower）和查尔斯·索恩（Charles　Thorn）等人提出，除非该理论能在二十六维定义，否则该模型将崩溃。很快，物理学家发现弦理论模型只在十维自洽。

对大多数物理学家来说，十维实在太多了。对于习惯了四维思考的科学家来说，这个理论更像科幻小说，而非真正的科学。结果，超弦理论在1974年失宠了。许多物理学家（包括加来道雄）不情愿地抛弃了这个模型。

加来道雄仍然记得许多物理学家在知道这个模型只能在二十六维和十维是一致时所感到的震惊和沮丧。我们都记得尼尔斯·玻尔的名言：“伟大的理论应该足够疯狂，但它把我们科学想象的极限延伸到相信宇宙可能存在于二十六维甚至十维上。”

众所周知，空间有三个维度：长度、深度和广度。宇宙中任何物体，从一只蚂蚁到太阳都能用这三个维度来描述。

如果我们想描述太阳的年龄，我们还需要一个维度：时间。利用这四个量（长度、深度、宽度和时间），我们可以描述宇宙。因此，物理学家说，我们生活在一个四维的宇宙中。

科幻作家最喜欢的一种方法是发明一个超过四个维度的世界。假设“平行宇宙”存在，它类似于我们自己的世界，但却在不同的维度上。这只是作家的作品，物理学家从未认真看待平行宇宙这个想法。所以，当弦的模型预测一个高维度的宇宙时，它被大多数物理学家拒之门外。

1974—1984年，研究弦模型的物理学家变得更加贫乏，多数物理学家致力于电弱理论和GUT理论的快速发展。只有最敬业的员工，比如伦敦玛丽女王学院的迈克尔·格林（Michael Green）和加州理工学院约翰·施瓦茨（John Schwarz）继续研究这个理论。

1976年，几位物理学家试图通过提出一种古怪的建议来复活这个理论。巴黎的乔尔·舍尔克（Joel Scherk）和约翰·施瓦茨（John Schwarz）建议对弦模型作重新解释，他们决定将邪恶变成美丽。在他们的方法中，超弦理论是用于错误问题的正确理论。它不是一个强相互作用的理论，而是一个宇宙理论！

这种对弦模型的重新解释遇到了极端的怀疑主义。毕竟，这一理论仅在预测强相互作用方面取得了适度的成功，现在的舍尔克和施瓦茨却欲使其成为解释宇宙的理论。这个想法尽管聪明，但并不严肃。毕竟，这个理论确定在十维。施瓦茨总结了当时的情况，他说，“没有人指责我们是疯子，但我们的工作确实被忽视了。”



弦之子

具有讽刺意味的是，尽管超弦理论在20世纪70年代作为一个强相互作用的模型消亡了，20世纪80年代我们称之为“弦之子”的理论却花繁叶茂。尽管弦本身不受青睐，但它的很多副产品在1974—1984年却占据了主导地位，成为了交叉的理论物理学科。弦有如此丰富的理论，它的副产品在物理学界广泛流传。

例如，康奈尔大学的肯·威尔逊（Ken Wilson）使用弦这个新颖的概

念提出夸克被一种像弦一样的黏稠物质聚集在一起。他提出这个理论是为了回答一个令人困惑的问题：夸克在哪里？尽管在过去的20年里夸克已被物理界普遍接受，但没人在实验室里见过它。盖尔曼等人提出，这些夸克可能被某种神秘力量“束缚”。

威尔逊的理论提出，在夸克理论中发现的杨-米尔斯胶子通常以粒子形式出现，在某些情况下可“浓缩”成黏稠的每一端有夸克的太妃糖，就像蒸汽凝结成水滴那样。根据这一逻辑，夸克从未被发现，是因为它们永久地被弦束缚着。

当时，国家科学基金会拨款数百万美元制造世界上最大的计算机（第五代计算机）以回答类似于威尔逊提出的问题。威尔逊的弦理论在原则上很强大，足以计算强相互作用的几乎所有属性。他在这一领域做了被称为“相变”的开创性工作，并已对固态物理和夸克模型产生了直接影响，因此威尔逊于1983年获得了诺贝尔奖。

弦的另一个衍生物是“超对称”（后面的章节将详细讨论）。虽然，超对称的首次发现是在十维理论中，但它能应用于四维理论。20世纪70年代后期，超对称变得时髦。事实证明，GUT理论患有某些超对称可以医治的病症。

后来，一种更复杂的超对称，一种包括重力的超对称被提了出来，称“超重力”。这个理论最初由彼得·范·尼乌文辉（Peter van Nieuwenhuizen）、丹·弗里德曼（Dan Freedman）和塞尔焦·费拉拉（Sergio ferra）提出，他们当时都在纽约州立大学石溪分校从事研究工作。这个理论成为了60年里爱因斯坦方程的第一个非凡的扩展。（超重力理论，由于其基于超对称而成立，实际上被包含在超弦理论中。）

最后，甚至物理学家对高维空间的偏见也在20世纪80年代初开始被破除。那时，卡鲁扎-克莱因模型变得时髦起来。某些量子效应可以让更高维的理论在物理上被接受（这个问题将在稍后作更详细的解释）。

虽然弦的孩子们主导了理论物理在70年代末和80年代初的方向，但它们的父母却不太受欢迎。这是一个科学上知道的拥有最大对称集的理论，却遭到了忽视。不过，这种情况在1984年，当物理学家重新审视某些叫做“异常”的东西时，开始发生了变化。



意外的胜利和精明的观察

量子力学与相对论结合的另一个副产品是异常。异常很小，但它在量子场论中是一个潜在的或许致命的缺陷，必须被取消或消除。这些异常不被消除，这个理论将没有意义。

异常类似于混合最好的黏土、沙子和矿物制造釉面陶器时出现的小缺陷。如果在混合正确比例的配料时出现了哪怕一小点儿的错误，这个小瑕疵也足以毁掉成品，导致它最终破裂。

异常告诉我们，一个理论不管多优雅，最终一定会导致不一致的出现，只能做出荒谬的预测。异常还告诉我们，大自然在建造引力的量子场论时要求有另一个限制。事实上，有很多对量子理论的限制，就像S矩阵理论一样。

大多数对称理论都存在异常。例如超弦模型是十维的［如俄罗斯物理学家A.M.波利亚科夫（A.M.Polyakov）所展示的］，因为需要更高的维度来消除异常。

普林斯顿大学的爱德华·维特（Edward Witten）和路易斯·阿尔瓦雷斯·高梅（Luis Alvarez-Gaume）发现，当量子场论被用来描述重力与其他粒子相互作用时，这个理论充满了致命的异常。1984年，格林和施瓦茨观察到超弦模型具有足够的对称性，可以彻底地禁止异常。超弦的对称性曾被认为太美丽没有实际应用，现在成了消除所有无限性和异常的关键。

这一认识引发了人们对超弦理论兴趣的激增。诺贝尔奖获得者史蒂文·温伯格（Steven Weinberg）听到了超弦的激动人心的消息后，立即转向研究超弦理论。“我放弃了我正在做的一切，”他回忆道，“包括我正在写的几本书，我开始学习关于弦理论我所需要的一切。”然而，学习一门全新的数学并不容易。“数学非常之难”，他承认道。

这种转变令人吃惊。几个月内，弦理论从一个漂亮但无用的古玩变成了也许是统一场论的唯一希望。异常现象并未摧毁建立量子理论的任何希望，而是复活了超弦理论。20世纪80年代早期发表的超弦文章只是涓涓细流，至1995年文章数量已增长到超过1000篇，使这一理论成为了理论物理的主导力量。

科学史上，类似的例子虽然罕见，却也真实存在——发现一个明显的“缺陷”最终变成了巨大的“财富”。例如，1928年，亚历山大·弗莱明（Alexander Fleming）发现他的葡萄球菌菌落培养皿如不小心被某些面包霉菌污染，将会遭到破坏。起初，他发现，采取保护措施以防止菌落培养被这些霉菌破坏是件令人讨厌的事情。但随后，弗莱明恍然大悟，也许杀菌的霉菌更重要。这一观察导致了青霉素的发现，弗莱明也因此在1945年获得了诺贝尔医学奖，他将这称为“意外的胜利和精明的观察”。

超弦理论就像一只从灰烬中飞起的凤凰，它重新回来了且是轰轰烈

烈的，这次胜利主要归功于施瓦茨和格林意外的和精明的观察。

7　对称性：缺失的一个环节

什么是美？

对音乐家来说，美可能是和谐的交响乐，能激起巨大激情的作品。对艺术家来说，美可能是一幅绘画从自然中捕捉到的美丽的场景，或浪漫概念的象征。对于物理学家来说，美意味着对称。

在物理学中，对称性最明显的例子是晶体或宝石。水晶和宝石是美丽的，因为它们具有对称性——如果我们以一定角度将它们旋转，它们仍能保持相同的形状。

我们说，晶体旋转一定的角度是不变的，因为晶体旋转将回到自身。例如，一个立方体围绕它的任何轴旋转90度仍能保持原来的方向；球体则更对称，因为它在所有可能的旋转下都将保持不变。

同样，当将对称性应用于物理学时，我们要求进行某些“旋转”时，方程仍能保持相同。这种情况下，当将空间变成时间，或者将电子变成夸克时，旋转（实际上是洗牌）发生。如果在进行这些旋转之后，方程仍然保持相同，我们称该方程有美丽的对称性。

物理学家经常争论这样一个问题：对称性只是人类特有的美学问题，还是大自然朴实定律（大自然是否也喜欢对称）？

宇宙似乎并非对称地被创造——宇宙不完全由美丽的冰晶和宝石组成，相反，它看起来破碎得可怕。锯齿状的岩石、蜿蜒的河流、无形的云、不规则的山脊、随机的化学分子，或者已知的暴风雪般的亚原子粒子，似乎不太对称。

然而，随着杨-米尔斯和规范理论的发现，我们开始意识到，大自然在本质的层面上更喜欢对称（不只是在物理理论中），大自然需要对称。物理学家现在意识到，对称是构建没有灾难性异常和分歧的物理定律的关键。

对称性解释了为什么所有潜在的有害分歧和异常在超弦理论中完美地相互抵消，而这些分歧和异常足以扼杀其他理论。事实上，超弦模型具有如此巨大的对称性，以至于该理论可以包含所有电弱理论、GUT理论，以及爱因斯坦广义相对论所有已知的对称。还有许多宇宙中尚未被发现的很多对称性在超弦理论中找到。回想起来，很明显对称是超弦理论如此有效的原因。

物理学家现在意识到，对称是消除任何相对论性量子理论面临的潜在致命问题的必需。尽管科学家更喜欢理论具有对称性是出于纯粹的美学原因，但他们越来越认识到大自然从起始就要求对称性，这将成为接受相对论和量子力学融合的铁的标准。

这在开始阶段并不明显。曾经，物理学家相信，他们可以写下许多可能的自我一致的宇宙理论——相对论、量子力学。现在，出乎我们的意料，我们发现消除分歧和异常的条件实在太严格，以至于只允许一种理论的存在。



对称与群论

对称的数学研究被称为“群论”（群论中的一个组仅仅是一组由精确的数学规则连接的数学对象），这源于出生于1811年的伟大的法国数学家埃瓦里斯·伽罗瓦的工作。伽罗瓦仅利用对称性的力量，在十几岁时就解决了困扰世界最伟大数学家500年的问题。例如，我们有等式$x^2+bx+c=0$，我们在高中的代数课上可使用平方根找到x的解。问题是：五次（五次幂）方程，$ax^5+bx^4+cx^3+dx^2+ex+f=0$，是否也能用这样的方式求解？

令人惊讶的是，这个少年创造了一个新的理论。这个理论如此强大，以至于能回答这个数学世界中最优秀人才几个世纪以来一直不曾解决的问题。他的解决方案展示了群论的巨大力量。

不幸的是，伽罗瓦远领先于他的时代，当时的其他数学家并不欣赏他的开创性研究。比如，当他申请进入著名的巴黎综合理工大学（École Polytechnique）时，他做了一次数学讲座，水平超过了考试委员会的负责人。结果，他遭到了拒绝。

然后，伽罗瓦总结了他的主要发现，并将论文发给了数学家奥古斯丁-路易·柯西（Augustin-Louis Cauchy），以提交给法国科学院。柯西并未意识到这项工作的重要性，丢失了伽罗瓦的论文。1830年，伽罗瓦提交了另一篇论文给科学院去竞争奖项，裁判约瑟夫·傅立叶（Joseph Fourier）在此竞争前不久去世，文章依然丢失了。伽罗瓦最后一次沮丧地提交自己的论文给学院，但这次，数学家西蒙-丹尼斯·泊松（Simeon-Denis Poisson）以“不可理解”的批语作了驳回。

伽罗瓦出生在一个革命席卷全球的时代，他拥抱了1830年的革命事业。他最终被巴黎高等师范学院（École normale supérieure）录取，但由于他是激进分子，很快遭到了开除。他于1831年在一次集会上因鼓动反对路易·菲利普国王而被捕。历史记载，一年后，一名警察特工，一名密探，发起了一场与他的决斗。（伽罗瓦显然和一个女人有关系，为了

荣誉用手枪决斗。）伽罗瓦被杀了，才20岁。

幸运的是，决斗的前一天夜晚，伽罗瓦有了死亡的预感。他在给朋友奥古斯特·切瓦利埃（Auguste Chevalier）的信中写下了自己的主要成果，要求在《百科全书杂志》上发表，这封信包含了他关于群论的主要思想。（一个世纪后，数学家仍然困惑于他的笔记，因为他提到了直至他死后25年才被发现的数学方程。）

尽管群论由于它的创始人伽罗瓦之死遭受了无可争议的损失，但就其本身而言，它不仅在数学上优雅还能应用到其他问题上发挥强大威力。它具有某些奇怪和奇妙的对称性，使我们能解决很多其他手段无法解决的问题。（群论现在在数学中占有重要地位，一些地方的高中会对学生教授。任何曾努力学习“新数学”的人都应感谢伽罗瓦。）

伽罗瓦之后，群论在19世纪后期由挪威数学家索菲斯·李（Sophus Lie）发展为一个成熟的分支。李完成了某种类型的所有群的艰巨的编目任务（现在为纪念他，称李群）。随着完全基于抽象数学的李群的发展，数学家们认为，他们终于发现了一个对物理学家没有任何实际用途的知识分支，它是纯数学的。（显然，数学家喜欢创建纯粹的数学，没有实际应用也不重要。）

一个世纪以后，这个“无用的”李群为所有的物理宇宙提供了基础！



李群——对称的语言

李最伟大的成就之一是将某一类型的所有的群分成7个品种。譬如说，一类李群称为O（N）。

沙滩球是具有O（N）对称的物体的最简单的例子。不管沙滩球以什么角度旋转，都会旋转回自身。我们说，这个球有O（3）对称性（O代表“正交”，3代表空间三维）。

O（3）对称性的另一个例子是原子本身。因为作为所有量子力学基础的薛定谔方程在旋转下不变，方程的解（是原子）也具有这种对称性。原子拥有旋转对称这一事实是薛定谔方程O（3）对称的直接结果。

李还发现了一组称为SU（N）的旋转复数的对称性。最简单的例子是U（1），它奠定了麦克斯韦方程的对称性（“1”代表只有1个光子）。

其他简单例子有SU（2），它可以旋转质子和中子。海森堡在1932年首个证明了这些粒子的薛定谔方程除了电荷外是非常相似的，可以将薛定谔方程写成将这两个粒子混在一起时保持方程不变。另一个例子是温伯格-萨拉姆理论，如果我们将电子和中微子相互旋转，可以发现它仍然保持相同。因为它旋转两个这样的粒子，所以它有对称群SU（2）。因为它还包含麦克斯韦的U（1）对称性，因此，温伯格和萨拉姆的完全对称是乘积SU（2）×U（1）。

坂田和他的合作者随后展示了强相互作用可以用对称群SU（3）表示，它旋转构成强相互作用粒子的3个亚核粒子。此外，SU（5）是最小的GUT理论，可以写成能交换5个粒子（电子、中微子和3个夸克）。自然地，如果我们有N个夸克，对称群将是SU（N），N可以为任何数。

也许，最奇怪的李群是E（N）群。很难想象E（N）对称的最简单的例子，因为这些神秘的群无法用普通物体表达。没有雪花或水晶拥有E（N）对称性。这些对称性是李通过抽象代数运算发现的，与实际物体没有任何关系。这些群的怪异之处在于，由于纯粹数学的理由，N的最高值可以取8。（为什么最大数字是8，需要懂得高等数学。）

E（8）群是超弦的对称之一。由于8是可以构造的最大数量，因此奇怪的“数字命理学”的形式正在出现，它与弦模型中发现的二十六维和超弦中发现的十维紧密相连。（“数字命理学”的起源甚至对数学家来说也是未知的。如果我们能理解为什么数字8、10、26在超弦理论中连续地意外出现，也许我们就能理解为什么宇宙出现在四维上。）

因此，统一场论的关键是采用李群作为统一的数学框架。当然，今天，这似乎很容易。物理学家为李群和统一场论的发展感到自豪，它们有着令人惊讶的优雅和美丽。然而，当时的情况并非如此。大多数物理学家一再表现出他们的顽固和愚蠢，强烈抵制将李群和统一引入物理学。也许可能的一个理由是，只有少数物理学家能比其他人看得更远。



对统一的敌意

1941年，在发现W粒子和最高实验证实电弱理论的42年前，哈佛大学的朱利安·施温格（Julian Schwinger）向J.罗伯特·奥本海默（J. Robert Oppenheimer）提到弱力和电磁力可以结合起来变成一种理论。施温格回忆，“我向奥本海默提到了这点，他非常冷淡。毕竟，这是一个

大胆的猜测。”

施温格尽管灰心丧气，但仍然坚持不懈地支持这个高等数学理论。施温格是曾经的神童，对高等数学不陌生。他14岁就进入了城市学院，后转入纽约哥伦比亚大学，并在17岁毕业，20岁获得博士学位。28岁，他成为了哈佛大学有史以来最年轻的全职教授。

1956年，施温格向诺贝尔奖获得者哥伦比亚大学的伊希斯多尔·艾萨克·拉比（Isidor Isaac Rabi）展示了一个非常完整的电弱理论。拉比直言不讳地回答，“每个人都讨厌那篇文章。”

当施温格意识到自己的电弱理论违反了一些实验数据时，他举起双手将自己的荒谬理论递给他的研究生谢尔登·格拉肖。［当然，施温格当时认为是实验数据错了，而不是他的理论错了。与格拉肖和施温格因电弱理论一起获得诺贝尔奖的阿卜杜勒·萨拉姆（Abdus Salam）后来说，“如果那些实验数据没有错，他也许能拿下当时的全部奖项。”］

尽管格拉肖和他的合作者受到了其他物理学家的嘲笑，但他们走上了正确的轨道。他们在数学上使用SU（2）联合了电子和中微子。电磁学理论本身具有U（1），完整的理论应具有对称性SU（2）×U（1）。不过，整个物理学界几十年来一直忽视了这一理论。

坂田和他的同事也受到了同样冰冷的对待。20世纪50年代，在盖尔曼引进夸克的几年前，坂田和他的合作者反对主流观点，预测在强子下面有一个符合SU（3）对称性的亚层存在。但坂田的亚核理论太超前，不能被其他物理学家完全消化，他的想法被大家认为太古怪。

和其他领域的一些专业人士相似——物理学家多年来一直努力解决一个问题，突然有人给出了整个问题的答案，他们会既怀疑又嫉妒。就像一个侦探试图解决一个谋杀之谜。想象某人花了几个月的时间汇总解开秘密的线索。证据中存在许多漏洞，一些证据甚至表现得自相矛盾。（这人是聪明的，但不是天才。）当他正琢磨一组线索时，一个鲁莽的年轻侦探冲进房间，看着线索，找出了一个模式，脱口而出，“我知道凶手是谁！”沉闷的侦探可能会感到某种程度的愤恨和嫉妒。

经验丰富的侦探会告诉年轻的侦探，证据如存在很多缺口，猜测答案为时尚早。他可能会说，任何人都可以提出一个谁是凶手的理论。事实上，他可以提出数百个理由，称年轻侦探认识不到仔细的老练的不急于下结论的侦探看得更深远。他的论证甚至可以说服年轻的侦探，正如奥本海默对施温格所做的，提出一个特定的人是杀手是个愚蠢的想法。

但是，如果年轻的侦探是正确的呢？

这种特殊的敌意来自大多数遭受机械思维过程折磨的物理学家，经常在西方物理学家中出现，他们通过检查各个部件的机械运动试图理解物体的内部运作。虽然这种想法在确定特定领域的定律中取得了不可否

认的成功，但它使人看不到全局，也看不到更大的模式。几十年来，这种机械思维使物理学家产生偏见，容易让他们站在始于20世纪20年代的爱因斯坦的统一角度的思考方式的对立面。

杨-米尔斯理论

20世纪50年代，在长岛布鲁克海文国家实验室的物理学家杨振宁（Chen Ning Yang）和他的同事罗伯特·米尔斯（Robert Mills）知道还未得到应有关注的一个好的建议的一切。他们提出的展示对称和统一力量的建议，多年来一直被忽略。

杨振宁，1922年出生于中国合肥，他的父亲是一名数学教授。杨毕业于清华大学，但他并未像之前的奥本海默那样去德国朝圣。对下一代物理学家们来说，第二次世界大战后的物理学会被移民的欧洲人掌握，这意味着美国的旅行。

杨于1945年抵达美国，并很快采用绰号“弗兰克”，以他的英雄本杰明·富兰克林的名字命名。1948年，他在芝加哥大学获得博士学位。由于意大利物理学家恩里科·费米（Enrico Fermi）的存在，这里成为了战后物理学研究的圣地。费米在1942年第一个展示了核链式反应是可以控制的，这导致了原子弹和核电站的制造。

早在1947年，杨还是研究生时，他就致力于得出一个比麦克斯韦理论更完善和更统一的理论。事后看来，麦克斯韦的理论除了具有爱因斯坦发现的相对论的时空旋转下的不变性以外，还有另一种对称，叫做U（1）。这个对称性可以推广到SU（2）和更高版本吗？

海森堡早些时候已证明，SU（2）是在薛定谔方程中通过混合质子和中子产生的对称性。海森堡创造了一种理论，其中质子变成中子时基本方程“不变”（保持相同）。海森堡认为，质子和中子以月球上和地球上不同的角度混合时保持不变，这种对称性对质子和中子的实际放置的位置不敏感。

然而，杨问了自己一个问题：如果我们创造了一个更复杂的理论，离开月地系统，在空间任何一点进行不同角度的混合会发生什么？

在空间任何一点不同的旋转会发生什么，这一想法被纳入了杨-米尔斯理论（也叫规范理论）。当杨和他的合作者在1954年研究出这个理论

的细节时，他们发现如假设有一个新的中间粒子这种局部对称性将能满足，这个中间粒子很像弱相互作用的W粒子。

物理界对他们这篇将成为本世纪最重要论文的反应是冷漠。

杨-米尔斯粒子的问题是，它具有太多对称性。它不像自然界中任何其他的已知粒子。例如，该理论预测杨-米尔斯粒子没有质量，但推测W介子（W-meson）有有限的质量。因为杨-米尔斯粒子与自然界中发现的任何粒子不匹配，这一理论在未来20年成为了科学好奇。为了使杨-米尔斯理论变得实际，物理学家必须设法打破这些对称，同时仍然保留这个理论所有好的特征。

因此，近20年来，杨-米尔斯理论备受折磨，偶尔被好奇的物理学家探索，但又遭到放弃。这个理论没有实际应用，因为：（a）它或许是不可重整的（但没人能证明这点）；（b）它只描述了无质量粒子，而W粒子（W-particle）有质量。科学的历史有许多曲折，但忽视杨-米尔斯理论的确是科学最大的失误之一。

苏格兰物理学家彼得·希格斯（Peter Higgs）取得了一些进展，他注意到有可能打破杨-米尔斯理论的某些对称性，从而获得具有质量的粒子。杨-米尔斯理论现在听起来很像W粒子理论，但没人相信这个理论可重整化。随着来自荷兰的24岁物理学家的工作，一切都发生了改变。



标准旋转

1971年，杰拉德·特·胡夫特（Gerard’t Hooft）指出，杨-米尔斯理论用希格斯发现的方法是可重整化的，这使它成为弱相互作用的合适理论。不夸张地说，这些规范理论是可重整化的证据引发了物理世界的火山。自19世纪60年代麦克斯韦以来，一个可联合自然界的一些基本力的理论诞生了。

起初，该理论与SU（2）×U（1）一起用于描述电弱力。然后用在SU（3）胶子理论中将夸克绑在一起。最后在SU（5）中使用，或者在更高的群里将所有已知的粒子组装成一个家族。

物理学家回顾“规范革命”，吃惊地意识到，宇宙比他们预期的要简单很多。正如史蒂文·温伯格曾说的：

……虽然对称性对我们来说是隐藏的，但我们可以感觉到它潜伏在自然界，支配着我们周围的一切。这是我知道的最激动人心的想法——大自然比我们看上去的要简单得多。没有比这更激动的事情了，我们这代人实际上能将宇宙的钥匙牢牢掌握在手中。也许，在我们的有生之年，我们可以解密巨大星系和粒子中的一切逻辑观点为何不可避免。



从GUT到弦

GUT模型令人兴奋，因为它能在假设只由夸克、轻子（电子和中微子）和杨-米尔斯粒子构成的本构粒子的存在下联合数百个粒子。

然而，问题出现了。随着时间流逝，原子粉碎机发现了越来越多的“基本”夸克和轻子，包括1974年发现的第4个夸克。再次，历史似乎又将重复。

早在20世纪50年代，物理学家们就被淹没在强相互作用发现的亚原子粒子的海洋，这导致了SU（3）和夸克模型的发现。70年代末至80年代初，更多的夸克被发现。但是，正如我们在第5章中看到的，它们只是前一组夸克的复制品。对物理学家来说，夸克复制品的存在，意味着GUT理论不能成为宇宙的基本理论。

超弦理论与GUT不同，它通过假设一个单一的实体解决了增殖夸克的问题，这个单一的实体就是弦，有着E（8）×E（8）对称性的物质基本单位。为什么GUT粒子有3个多余的家族？

电子家族	μ子家族	τ家族
电子	μ	τ
中微子	μ子中微子	τ中微子
上夸克	奇异夸克	顶夸克
下夸克	粲夸克	底夸克

GUT理论的最大尴尬是——它不能解释为什么有3个相同的粒子家族。超弦理论认为——这些多余的家族可被解释为同一弦的不同振动。

［李发现，除了SU（N）群，还有一个其他类的称为E（6）、E（7）和E（8）的群（E代表“例外”）。这些群是例外的，因为它们不会永远继续下去，而会停在E（8）。这对弦理论非常重要。］



折纸和对称

超弦理论非常有效，因为它有两套强大的对称——共形对称和超对称。这里，我们可以用折纸来说明第一个对称。（第二个将在下章讨论。）

早些时候，我们看到过用组装式玩具计算点粒子的S矩阵。用棍子和关节可创造一个无限数量的费曼图，归纳起来可产生S矩阵。然而，大部分这些费曼图无法解释。我们只是盲目地将组装式玩具附在所有可能的方式上。幸运的是，对于那些简单的诸如量子电动理论，只需要几张图表就能与数据获得惊人的一致。

然而，在引力的量子理论中，需要几万张这样的图以代表一个循环图。并且，这些图大部分是不同的。自然如此复杂？任何花了数年时间研究这些图，翻阅数千页密集方程式的人，都会产生一种共识——必然存在一个基础模式。

超弦理论提供了这种对称性，允许这些成千上万的图缩减成几个图。巨大的优点是，它们可以像橡胶那样被拉伸和收缩，值不会被改变。例如，在第一个环路，代替成千上万费曼图的只有一张图。它能证明所有的成千上万的不同的循环费曼图可通过伸展彼此相等。

显然，这种对称性极大地简化了理论。事实上，这种对称性非常强大，以至于它消除了成千上万个分歧，得出了有限的S矩阵。



打破对称

如果自然是对称的，那么物理学家的工作将容易许多。统一的理论可想而知，只存在一种基本力，而不是四种力。自然界对称性遭到破坏的形式的数量是吃惊的。例如，世界不是完美的水晶或统一的，而是充满了不规则的星系，不平衡的行星轨道……大自然充满了因为对称性被

破坏而被隐藏的例子。［事实上，如果对称永远不被打破，宇宙将会是个相当沉闷的地方。人类不可能存在（因为不会有原子），生命不可能存在，化学也会崩溃。因此，对称性的打破促使了宇宙的丰富多彩。］

例如，打破对称性的研究解释了水的冻结，液态水具有极强的对称性。无论怎样转动，它仍然是水。事实上，即使是控制水的方程也具有同样的对称性。然而，当我们慢慢将水冷却，随机的冰晶从各个方向形成，形成一个最终变成固体冰的混沌网络。问题的本质是：尽管原始方程具有极强的对称性，但方程的解不一定拥有这种对称性。

这些量子跃迁发生的原因是，大自然总是“偏爱”处于较低的能量状态。我们总能看到，水从山上向山下流动，它试图达到更低的能量状态。量子跃迁的发生是因为系统最初是处在错误的能量状态（有时称之为“假真空”），且更愿意跃迁到较低的能量状态。



对称恢复

在这点上，分析对称性的碎片来揭示隐藏的对称似乎是一项无望的任务。然而，有一种方法可以恢复原始对称性：加热物质。例如，通过加热冰我们能回收水的O（3）对称。同样，如果我们想恢复这4种力的隐藏的对称性，我们必须重新加热——回到大爆炸，那里的温度高到足以恢复被打破的超弦的对称性。当然，我们不能在实际上重新加热宇宙，重新创造大爆炸的条件。然而，通过对大爆炸的研究，我们能分析宇宙的对称性完好无损的那个时代。

事实上，物理学家怀疑，创世之初的温度非常高，以至于所有4种力都融合成了1种。然而，宇宙冷却，将这4种力保持在一起的对称性会被逐个瓦解。

换句话说，我们今天看到4种力的原因是宇宙是如此古老和寒冷。如果我们目睹了大爆炸，如果这个理论是正确的，我们会看到所有的物质都表现为超弦对称，如我们将在下章中解释的超对称。

然而，物理学家声称超对称是关键，超对称又是一个如此简单的理论，为什么物理学家这么多年不能理解它？

8　超对称

发现超弦，最突出的人是加州理工学院的约翰·施瓦茨。

与其他一些顶尖的超弦物理学家一样，约翰·施瓦茨也来自科学家家庭。他父亲是工业化学家，母亲是维也纳大学的物理学家。他的母亲甚至在巴黎居里夫人那儿找到了一份工作，但在开始正式的工作前，那位伟大的化学家不幸离世。约翰的父母来自匈牙利，随着欧洲大规模的纳粹反犹情绪上升，他们在1940年逃离欧洲，定居美国。约翰1941年出生在美国马萨诸塞州的北亚当斯。

他在哈佛大学开始了数学专业的本科学习，但在1962年毕业于物理专业。“我开始对数学感到沮丧，”他回忆，“虽然它很有趣，但我不明白它的意义。物理就不同了——试着回答大自然提出的问题在我看来似乎更有意义，且更令人满意。”

哈佛毕业后，他去了美国加州伯克利大学研究生院。他深情地回忆，“那时，那里是理论物理的温床。”S矩阵理论正处在高峰时期，他和普林斯顿的大卫·格罗斯都在杰弗里·丘手下工作。在伯克利那个时候的未来名人中，还有初级教员史蒂文·温伯格和谢尔登·格拉肖。“当温伯格走进房间，”施瓦茨说，“他身上自带某种光环，一看就知道他是个重要人物。”

1966年，施瓦茨带着博士学位离开伯克利，去了普林斯顿大学。在那里，他和两位来自巴黎的年轻的法国物理学家安德烈·内沃（Andre Neveu）和乔尔·谢克（Joel Scherk）一起工作，他和他们共同发表了一系列开创性的超弦论文。1971年，内沃和施瓦茨意识到，威尼斯诺和铃木提出的贝塔函数有一个根本性的缺陷——他们的理论无法描述在大自然中发现的所有“旋转”粒子。

所有物体都有“旋转”或角动量——从星系（一次旋转可能需要数百万年时间）到亚原子粒子（能每秒旋转数百万次）的每个事物。我们熟悉的物体，如陀螺，它能以任何速度旋转。又如，拨动转盘唱机转速，可以轻松地将转速从每分钟 $33\frac{1}{3}$ 转调整到每分钟78转。

然而，在量子世界，电子的自旋不以任意数量出现。就像光一样，只能以离散的光子束出现，亚原子粒子只能以一定的角动量旋转。

事实上，量子力学将世界上所有的粒子分为只有两种类型——玻色子和费米子。

作为费米子的一个例子，看看你的身体，电子和构成你体内原子的质子都是费米子。你看到的周围的一切，包括墙壁和天空，皆由费米子构成，有半整旋：$\frac{1}{2}$、$\frac{3}{2}$、$\frac{5}{2}$等，以普朗克常数为单位测量。费米子是为了纪念恩里科·费米（Enrico Fermi）而命名。

作为玻色子的一个例子，可以想想阻止你不会被旋转到外太空的引力，或者想想光本身。没有玻色子，宇宙是黑暗的，也没有任何引力将星星聚集在一起。玻色子有整数自旋：0、1、2等。玻色子是以印度物理学家萨延德拉·玻色（Satyendra Bose）的名字命名的。

费米子	自旋	玻色子	自旋
电子	$\frac{1}{2}$	光子	1
中子	$\frac{1}{2}$	引力子	2
质子	$\frac{1}{2}$	W 粒子	1
中微子	$\frac{1}{2}$	π 介子	0
夸克	$\frac{1}{2}$		

粒子的自旋用普朗克常数的单位量化和测量，除以2π，这是一个非常小的数字。例如，电子自旋为$\frac{1}{2}\times\frac{h}{2\pi}$，光子自旋为$1\times\frac{h}{2\pi}$。

今天，我们意识到，南布的弦理论解释了威尼斯诺-铃木贝塔函数的起源，它只是一个玻色子弦。内沃（也译奈芙）、施瓦茨和雷蒙在1986年通过发明伴随玻色子弦的费米子弦完成了这个理论。内沃-施瓦茨-雷蒙理论（稍加修改）成为了今天的超弦理论。

内沃、施瓦茨和雷蒙理论预言了一个新的S矩阵，其性质比威尼斯诺和铃木的老的S矩阵更好，但这些近乎奇迹属性的起源不明。每当有如此神奇的“巧合”出现，物理学家都会怀疑隐藏的对称性是其原因。

1971年，纽约市立大学的本吉·萨基塔（Bunji Sakita）和巴黎师范

学院的鲁普·热尔韦（Loup Gervais）找到了这个谜题的部分答案。他们证明了内沃-施瓦茨-雷蒙理论拥有隐藏的对称性确实与此惊人的性能相关。这些开创性的发现标志着超对称的产生。[超对称同时被两位苏联物理学家戈尔凡德（Gol’fand）和E.P.利赫曼（E.P. Likhtman）提出，尽管那时他们的工作在西方不受欢迎。]

热尔韦和萨基塔发现的超对称是前所未有的最大的对称性。一种可以将玻色子物体旋转成费米子物体的对称性被创造出来。这意味着宇宙中所有玻色子粒子都有一个费米子搭档。（然而，它们的对称性还不完全，因为这只是二维对称。该理论是二维的，因为当一维弦移动时，它扫成二维的表面。）

这个新的超弦理论和一种玻色子和费米子相互交换的全新对称性的发现激起了巨大兴奋。然而，在20世纪70年代中期，这个理论颇受质疑。



最严厉的批评

如前所述，南布的玻色子弦只存在于二十六维，内沃-施瓦茨-雷蒙的弦只存在于十维，使这个模型在20世纪70年代中期消亡。施瓦茨和他的合作者迈克尔·格林似乎是唯一推广弦理论研究的人，没多少人希望在十维时空作研究。

施瓦茨确信，困难可以解决。他记得自己和理查德·费曼的一次谈话——费曼说，无论我们提出什么理论，都必须率先成为自己最严厉的批评家；施瓦茨说，毫无疑问，费曼这么说是为了劝阻自己不要在弦理论上浪费他富有成效的岁月，这或许是个死胡同。事实上，对施瓦茨而言，费曼的话起了相反的效果，“费曼并未意识到，我在弦理论的研究中非常挑剔，我未发现任何问题！”

这一理论的发展在2000年由于乔尔·谢克的意外死亡遭受了又一次挫折。加来道雄记得，自己在1970年首次见到谢克，当时的谢克刚离开普林斯顿正访问伯克利。他们一起工作并发表了第一篇关于多环介质奇异结构的论文。谢克是个不依惯例行事但温柔的人，他似乎对那时在旧金山的海特-阿什伯里和伯克利电报大道兴起的反战和反传统文化的生活方式感到自在。离开伯克利后，他以一种典型的不寻常方式回到了法国——“首先，他去了日本，他在一个佛教寺院里呆了几个星期，与僧侣一

起苦行冥想。然后，他经由西伯利亚大铁路旅行至法国。正是这个时期，他患上了严重的糖尿病。因为这个，以及一些其他个人问题，他甚至在1980年尝试自杀。”



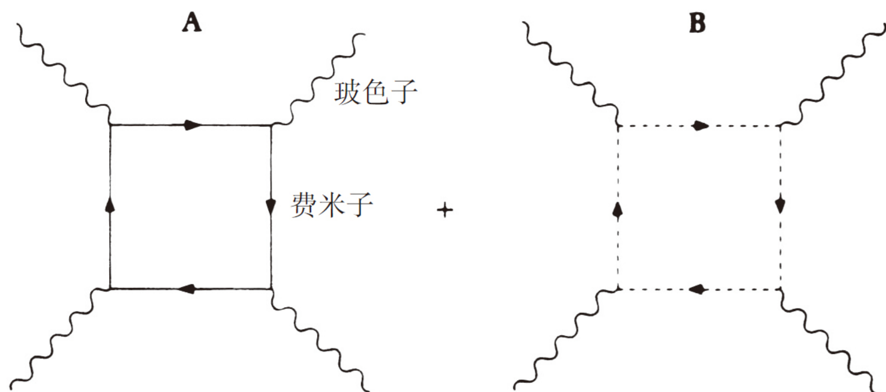
超引力的崛起

尽管弦理论不受欢迎，但一些物理学家却试图挽救作为普通点粒子对称性的超对称。将费米子变成玻色子和玻色子变成费米子的对称性实在太诱惑，不能放过。

1974年布鲁诺·祖米诺（Bruno　Zumino）（今在伯克利）和朱利叶斯·韦斯（Julius　Wess）（今在西德卡尔斯鲁厄大学）受到热尔韦和萨基塔工作的启发，展示了如何从弦中提取这种新的对称性，并简化为在四维中定义的简单的点粒子理论（传统的量子场论）。他们采用了最简单的场论之一——自旋为0的玻色子与自旋为 $\frac{1}{2}$ 的费米子相互作用——并证明它可以制造出超对称。更重要的是，他们简单明了地展示了超对称消除了点粒子的量子场论中的许多不必要的差异。与杨-米尔斯理论的SU（N）对称消除了W粒子理论所有的分歧一样，超对称消除了许多（但不是全部）点粒子理论的分歧。

想象下图左边的费曼图，它的分歧在于内环中有一个费米子环。令韦斯和祖米诺惊讶的是，他们发现，这种分歧可以消除右边图中的分歧，这个图的内环中有玻色子环。换种说法——左环路的分歧完美地消除了右环路的分歧，留下了有限的结果。这里，我们看到了对称在消除分歧中的威力。

同样，对称性也能用来解决物理领域以外的问题。比如，一个女裁缝做了一件婚纱服。然而，就在婚礼前，女裁缝发现裙子有点向一侧倾斜。此时，她有两个选择。其一，收回所有布片，费力地将倾斜的布片与原件比对，仔细地剪掉多余的部分。



图A中，内部实线代表费米子。图A的分歧消除了图B的分歧，该图含有玻色子（用波浪线代表）。因此，两个图的总和是有限的。

其二，可以利用对称的方法，简单地将婚纱服对折，两边对齐，然后剪去多余的部分。对称可用来消除左右两半的差别。

同样，超对称允许我们将有分歧的费曼图两边对齐，直到它们完全相互抵消掉多余的为止。

因为超对称很容易适应点粒子理论，在1976年，在斯托尼·布鲁克纽约州立大学工作的三名物理学家修补了爱因斯坦的旧引力理论。建立在韦斯和祖米诺成功的基础上，他们成功地给引力子增加了费米子伙伴，创造了一个被他们命名为“超引力”的新理论。

超引力虽然只是超弦的一小部分（当我们将弦的长度取为零时，即一个点时出现），但它本身就非常有趣。在某种意义上，它代表了爱因斯坦引力理论和超弦理论之间的中途站。

因为重力有两个自旋单位，所以它必须有一个半整数自旋3　2的伴侣，物理学家称之为“引力微子”（小重力）。

超引力在第一次被提出时引起了很大的轰动，因为这是爱因斯坦方程最简单的非凡的推广。

虽然超引力最初产生了很大的期望，但该理论在联合自然力方面表现出了明显的问题。这个理论太小，无法容纳所有已知粒子。能容纳所有已知粒子的最小李群是SU（5），然而，适合超引力的最大李群是O（8）。它太小，不能包括真正GUT理论中所有的夸克和轻子，最大的超引力也不能同时容纳夸克和轻子。

尽管超引力理论很有吸引力，但它的对称性太小，无法消除差异或包含夸克和轻子。



普林斯顿弦乐四重奏

20世纪70年代末，物理学家意识到，超引力是超弦理论的一小部分。例如，我们使用最小封闭的超弦，就会从超弦理论中浮现出超引力理论。然而，当时的物理学家认为超弦理论太数学化，不真实。

格林和施瓦茨在1984年发现，该理论确实缺乏新奇之处以引发人们对超弦的兴趣。但很快，被世界上绝大多数物理学家认为已死亡的超弦理论卷土重来，成为了有史以来最强大的量子场论。

当时，人们越来越清楚，需要一个巨大的对称群消除重力中的所有差异，超弦理论拥有最大的一组物理学家未曾见过的对称性。

普林斯顿的四位物理学家——大卫·格罗斯（David Gross）、杰弗里·哈维（Jeffrey Harvey）、埃米尔·马丁尼克（Emil Martinec）和瑞安·罗姆（Ryan Rohm）发现了一个有E（8）×E（8）对称的新的超弦，它比格林·施瓦茨的超弦性质更好。普林斯顿小组（被称为“普林斯顿弦乐四重奏”）表明，E（8）×E（8）弦与所有早期GUT理论兼容，与所有已知实验一致。E（8）比SU（5）大得多，这个理论不仅容纳了所有已知的GUT类型理论，还预测了成千上万个从未被看见的新粒子。普林斯顿超弦目前是宇宙理论主要的候选理论。



超数

超弦理论可能是有史以来提出的最疯狂的理论，它潜在的对称性被称为超对称，也是同样的疯狂。

具有讽刺意味的是，自然界从未发现过超对称。迄今为止，它只存在于纸上，但它是如此美丽和引人注目，大多数物理学家理所当然地认为超对称最终一定会被发现。

但如果超对称是如此美丽的对称性，为什么几年前没有发现呢？这有一个简单且深刻的问题，它能追溯到人类社会的起源以及我们如何用手指计数。

自几千年前人类开始计数以来，我们一直假设数字对应于有形的、真实的事物。曾经，我们知道，数字可以相加，5只羊加2只羊能得出7只羊。随着社会变得复杂和多元，必须发明规则以加减那些越来越大的数字。罗马人为了征税以及与其他地区贸易，他们需要复杂的加法和除法。最早的算术规则以这样的方式建立起来，作为一种清点可以交易或出售商品的方法。

古人发现，数字可以以任何顺序相加或相乘。例如，我们知道$2\times3=3\times2=6$。我们知道，这些关系是正确的，因为我们能用手指对物体数数并证明它们的正确与错误。但为什么数字之间的这种关系的普遍化能容纳统一场论呢？

多年来，这么多人未发现超对称的一个原因是，我们必须创造一组不服从“常识”规则的新数字。假如，我们想发明一种新的被称为格拉斯曼的数字系统，其中$a\times b=-b\times a$。负号虽然是无辜的，但在应用于理论物理时具有深远的意义。

例如，这意味着，$a\times a=-a\times a$。此时，你或许会反对，因为这意味着$a\times a=0$。通常，人们会说，这意味着$a=0$。然而，对于格拉斯曼数而言，事实并非如此。

因此，可以构造一个有意义的“算术”系统，其中$a\times b=-b\times a$。这个系统可以被证明在数学上是自洽的，是一个令人满意的算法系统。这个奇怪的数字系统需要我们扩展过去10000年的算术。

超对称，就像统一场论历史上所有其他的发展一样，创造了自己的特殊统一，它统一了实数和格拉斯曼数的概念并产生了一个“超数”。

总之，超对称在早期未被发现的部分原因是，物理学家反对使用格拉斯曼数探索自然。事实上，伟大的挪威数学家索菲斯·李认为，他已把所有可能的不同类型的群作了编目，但忽略了以格拉斯曼数为基础的超对称群。

当然，人们可能会抗议这些抽象的建筑似乎缺乏物理内容。然而，格拉斯曼数非常实用——因为格拉斯曼数描述了费米子，人体是由仅能用格拉斯曼数描述的粒子组成的。



时间之初的超对称

不幸的是，没有实验证据证明超对称存在。如果超对称作为物理对称性存在于我们的能量尺度，那么，自旋为$\frac{1}{2}$的电子会有一伴侣——自旋为0的介子。然而，这并未得到实验验证。超对称经常被称为“寻找问题的解决方案”，尽管它美丽优雅，但在我们机器的能量范围内，大自然似乎选择了忽略。

不过，超对称的倡导者并不感到困惑。如果在低能量下还未发现超对称，显然需要建造更大的原子粉碎机并深入探究质子的内部。他们说，问题不在于超对称的发现，而在于我们缺乏足够强大的机器以探测更大的能量范围。

为发现超对称以及亚原子世界的其他秘密，美国政府曾计划建造纯科学史上最大的机器——超导超级对撞机（SSC）——但该项目在1993年被国会取消了。然而，鉴于其巨大的规模，超导超级对撞机仍然值得讨论。



安泰俄斯

尽管超导超级对撞机是一个令人敬畏的项目，一个可以与金字塔的建造相比的项目，但粒子物理学的起源似乎将变得不再起眼了。

20世纪20年代，物理学家通过检查宇宙射线（从外层空间发出的辐射，其来源尚不清楚）研究基本粒子物理，使用设备的造价仅为原子粉碎机目前成本的百分之一。

历史上，宇宙射线实验是将大气球上的摄影底片发送到天空。这是一个乏味的过程，将气球送入高层大气，回收它们，冲洗胶卷，然后花几个月时间检查乳剂，寻找高能宇宙射线留下的痕迹。这是一个缓慢摸索的实验物理学方法，因为物理学家事先并不知道会发现什么。（例如，调解强力的汤川的π介子最早是由查看宇宙射线留下的痕迹发现的，经过了几个月时间的仔细工作。）

此外，分析随机的宇宙射线轨迹是一件令人讨厌的事。因为宇宙射线的能量不可预测，也不能用不可预测能量的宇宙射线作可控制实验。

随着第一台原子粉碎机，即回旋加速器的发明，这一切在20世纪30年代发生了变化。这台机器是由美国加州伯克利大学的欧内斯特·劳伦斯（Ernest Lawrence）设计。这台机器只有几英寸宽并能产生微弱的能量束，它可以在实验室制造出特制的类似宇宙射线的光束。

这种进化可以和人类的进化相比较——我们花了几十万年的时间在森林中寻找食物，我们的早期祖先并不知道他们可能会找到什么样的水果或猎物。这是一个痛苦的随机过程。当然，伟大的革命发生了——我们学会了农业，开始收割谷物，照料牛羊，从而确保了食物来源于受控条件之下，而非听天由命。

20世纪80年代，能源部一直考虑超导超级对撞机项目，经济造价或许要花费110亿美元以上，人力资源或许需要大约3000名科学家和工程师。

目标是制造一台机器，让物理学家能探究基本力是否在最初被统一。因此，超导超级对撞机不仅是最昂贵的，也是从未建造过的最大的科学仪器。

超导超级对撞机的每个磁性线圈可产生6.6特斯拉，或者说能产生比地球磁场强130000倍的磁场。这种强大的磁场可由被称为“超导性”的量子效应产生，在超导中金属的电阻在绝对零度时降为零。磁铁会被液氦冷却保持在绝对零度以上4.35度。

机器本身将被装在一个狭窄的圆形隧道里，大约20英尺（6.09米）宽200英里（321.86千米）长，被放置在地下（为了吸收该机器产生的强烈辐射）。隧道里有一系列磁铁可以在粒子沿着这个环旋转时弯曲它们的路径。

超导超级对撞机的核心由两个不同的管道组成，直径不超过2英尺（0.6米），贯穿整个隧道长度。在这两个管中，两束质子沿相反方向行进，被沿着光束路径放置的电极加速到巨大的能量。（启动后15分钟，光束被加速并绕着管子运行3000000次，达到极限光速的几分之一。）

两束质子以相反的方向循环，直至电磁门打开，它们相撞并产生高温和自大爆炸以后从未见过的恶劣环境。（例如，撞击会产生40万亿电

子伏特的能量。）

欧洲国家本身不够大，无法建设这样的项目，他们在日内瓦附近联合成立了欧洲核子研究中心。不过，超导超级对撞机比欧洲核子研究中心最大的机器还大60倍。

科学家们曾希望用超导超级对撞机测试众多的新理论。温伯格和格拉肖的旧电弱理论是最容易测试的。然而，从长远来看，科学家们希望发现有助于我们理解GUT理论的线索，可能还有超弦。因为GUT和超弦理论需要的统一能量比超导超级对撞机发现的能量大万亿倍，我们只能希望窥见这两种理论的一角。

虽然超导超级对撞机能使我们很快接近这个星球上的国家能研究亚核物理领域的极限，但其他的途径也一直是开放的。

例如，美国现在正发射的卫星，可以窥视遥远的星系寻找黑洞和大爆炸的残余。事实上，我们可能不得不利用创世之初的回声作为“实验室”，在那里收集我们的数据。

将实验数据与理论联系起来的过程，是理论成为真理的关键，尤其是声称欲联合所有已知的力的理论。如物理学家莫里斯·戈德哈伯（Maurice Goldhaber）借用的希腊神话，“安泰俄斯是最强的人，只要他和他的母亲（大地）保持联系就不可战胜。一旦他失去与大地的联系，他会变得虚弱并被打败。物理学理论也是这样，他们必须接触大地获得力量。”



回应批评者

正如朱利安·施温格在评论GUT理论时曾说过的，“统一是科学的最终目标，这是真理。不过，现在就能统一似乎太主观了。因为我们还未能掌握足够的能量。”

尽管这是施温格对GUT理论提出的批评，但它同样适用于超弦理论。虽然这个理论提供了唯一的希望，提供了一个全面的框架描述宇宙规律，但一些超弦的批评家指出，也许超导超级对撞机也不能达到足以在10_{20}亿电子伏特的普朗克尺度上全面测试物理的结果。

然而，施瓦茨并不畏惧。“如果它是正确的，它将成为各种尺度的物

理学理论。我们需要发展我们的数学工具以摆脱低能状态。”

换句话说，问题不在于我们不能建造大型机器，而是我们对十维宇宙如何变成四维宇宙的数学理解还很原始。我们的下一步是，通过研究所有实验中最大的“实验室”以研究超对称，这个实验室就是在时间开始时的宇宙。

Part Ⅲ BEYOND THE FOURTH DIMENSION
第三部分 超出四维

9 大爆炸之前

每个社会都有关于时间起源的神话。这些神话中，许多都提到了宇宙的炽热起源——那时，众神在天堂为新创造的地球的命运而战。古代挪威涉及宇宙起源和死亡的神话充满了巨人、神和巨魔之间的巨大战斗，导致了史诗《仙境传说》的诞生，描述众神本身的死亡。

今天，科学家们第一次能做出关于创世的合理陈述——基于物理而不是神话。宇宙学（研究宇宙的起源和结构）最令人兴奋的是量子力学和相对论的相互作用，开启了令人惊讶的爱因斯坦做梦也没想到的新局面。

也许，超弦理论最惊人的结论是，它可以在实际上解释宇宙大爆炸之前，在时间开始时发生了什么。事实上，超弦理论认为，大爆炸是更多的猛烈爆炸的副产品，将一个十维宇宙分解成了四维宇宙。



宇宙大爆炸

大爆炸理论的起源可追溯到爱因斯坦在1917年犯下的一个错误，他后来将其称为自己一生的“最大的错误”。

1917年，爱因斯坦写下著名的广义相对论之后，发现了一个令人不安的结果。每次，当他解自己的方程时，他发现宇宙总是膨胀的。在当时，众所周知的理论为宇宙是永恒和静止的。在银河系之外可能存在星系的想法，在当时也被认为是近乎科幻的异端邪说。令爱因斯坦懊恼的是，他发现自己的方程式公然违背常识，他的方程式错了吗？

他对宇宙膨胀的观点感到惊叹，以至他被迫得出结论——他的方程是不完全的。之后，爱因斯坦在自己的方程式中加入了一个“虚构”的因素以平衡宇宙膨胀。爱因斯坦也“作弊”了，推翻了300年牛顿物理学的

伟大革命者对自己的方程式也出现了不信任。

1922年，苏联物理学家亚历山大·弗里德曼（Alexander Friedman）发现了也许是爱因斯坦方程的最简单解，它给了我们对膨胀宇宙的最优雅的描述。然而，像爱因斯坦的解一样，没人认真对待他的想法，因为它们与当时的传统智慧背道而驰。

1929年，美国天文学家爱德文·哈勃（Edwin Hubble）多年来使用100英寸威尔逊山望远镜工作，宣布了他戏剧性的发现：不仅有数百万银河系之外的太空星系存在，它们还以惊人的速度匆忙地离开地球。爱因斯坦和弗里德曼是正确的！

1931年，爱因斯坦放弃了这个“虚构”因素并重新提出了自己14年前放弃了的关于膨胀宇宙的旧理论。

哈勃发现星系离地球越远，其离开地球的速度越快。科学家们依靠多普勒效应测量这些星系的巨大的速度。（根据多普勒效应，发出光波或声波的物体距离你越近频率越高。比如，从你身边呼啸而过的快速列车的声音音量，会随着与你距离的拉大而急剧下降。）

哈勃证实，这种多普勒效应也发生在来自遥远恒星的光上，产生星光的“红移”。（如果星星向地球靠拢会产生“蓝移”，实验上看不到。）

膨胀的宇宙经常被比作膨胀的气球。想象一下，塑料斑点粘在气球的表面上——气球膨胀时，斑点（星系）会彼此远离。我们生活在气球的表面，故而看上去所有的星星都在远离我们。

膨胀的宇宙还解释了一个困惑天文学家多年的悖论：为什么夜空是黑暗的？1826年，海因里希·奥尔勃斯（Heinrich Olbers）写了一篇论文，他认为如果星星的数量为无限，它们发出的光应该充满整个夜晚的天空。如此，不管我们在夜空中看向哪儿，强烈的光一定会让我们失明。但在膨胀的宇宙中，能量由于红移而损耗，星星的寿命也有限，所以我们不会被夜空蒙蔽了双眼。

虽然这个“膨胀的宇宙”模型已经过实验验证，但爱因斯坦的理论未提及大爆炸是怎样发生的，在它之前发生了什么。欲回答这些问题，我们必须诉诸GUT理论和超弦理论。



GUT早期宇宙

对弦论者而言，研究宇宙学的目的之一是使用量子对称性缺失作为早期宇宙的探测器。我们今天的宇宙非常不对称，存在四种力且几乎不一样。不过，我们现在知道了原因——我们的宇宙太古老。

在时间之初，当时的温度非常高，那时的我们的宇宙一定是完全对称的。所有的力量被团结在一个一致的力中。然而，随着宇宙迅速爆炸和快速冷却，四个力逐渐被分开，直至它们完全失去相似处，如今天人们所见。

这意味着我们可将大爆炸事件作为一个“实验室”以测试我们关于对称应如何被打破的想法。例如，当我们回到过去，最终我们会达到GUT对称未被打破的温度。这反过来解释了宇宙中最令人困惑的秘密之一：宇宙诞生时发生什么？

例如，我们知道在时间之初，重力、电弱力和强力可能都是一个单一力的各个部分。

当宇宙的年龄可能只有10^{-43}秒，直径只有10^{-33}厘米时，物质和能量可能是由完整的超弦构成。量子引力，正如超弦描述的，是宇宙中的主导力量。不幸的是，没人见证过此事件，因为那时的宇宙可以很容易地融入质子中。

在难以置信的10^{32}开尔文的温度下（比太阳温度高10^{27}倍），重力与其他GUT力分离。像水滴从一团蒸汽中凝结出来，力开始分离。

那时，宇宙每隔10^{-35}秒就变大一倍。随着温度的降低，GUT力本身开始断裂，强力从电弱力中剥离出来。宇宙大约有保龄球那么大，但仍在迅速膨胀。

在创世后10^{-9}秒，宇宙温度达到10^{15}开尔文，电-弱力分解成电磁力和弱力。

在这种温度下，所有四种力彼此分离，宇宙由自由的夸克、轻子和光子构成。

此后，宇宙进一步冷却，夸克结合形成质子和中子。杨-米尔斯场凝结成我们前面提到的黏性“胶水”将夸克结合变成强子。最后，宇宙“汤”中的夸克凝聚成质子和中子，最终形成原子核。

创世3分钟后，稳定的原子核开始形成。

大爆炸后30万年，第一批原子诞生了。气温下降到3000开氏度，氢原子可以在不被碰撞撕裂的情况下形成。那时，宇宙变得透明——光可以旅行几光年而不被吸收。（在此之前，它不能从太空中被看到——光被吸收了，望远镜进行远距离观察也不能看到。今天，我们认为空间是黑暗和透明的，而那时的空间是不透明的，像浓雾一样。）

今天，宇宙大爆炸后的100亿—200亿年，宇宙看起来非常不对称和破碎，四种力彼此相差极大。原始的火球的温度现已冷却到了3开氏度，接近绝对零度。

因此，通过宇宙的逐渐冷却，各种力很可能一步一步的以彼此分离的方式描述联合的总体方案。重力首先分离，然后是强力，接着是弱力，只留下了电磁力没有破裂。

格拉肖总结了GUT理论家如何看待宇宙的生死，他说："物质第一次出现大约在宇宙大爆炸后的10^{-38}秒，它们将会从现在开始在10^{40}秒后消失。"



大爆炸的回声

似乎非常奇怪，人类竟能如此轻松地大谈能撕裂我们地球（甚至银河系）那样的灾难性的温度和事件。事实上，物理学家史蒂文·温伯格书写宇宙的诞生时，曾坦率地承认，"我不能否认，提笔前3分钟，自己一直感觉非真——我们真的知道自己在说什么吗？"

最终，这些关于早期宇宙的陈述仍然只是理论。然而，事实是，不管创世的细节是如何的异想天开，实验证据越来越多地证明，根据量子理论和相对论的预测，此类事件为真实发生。

特别是，俄罗斯物理学家乔治·伽莫夫（George Gamow）在20世纪40年代预测，也许有一种方法可通过实验验证大爆炸真的发生了。伽莫夫认为，大爆炸遗留下来的最初的辐射体应该还在宇宙中流传，尽管100亿—200亿年后它的温度已非常低。他预言，这个宇宙大爆炸的"回声"会均匀地分布在宇宙中，故而不管我们从哪个方向上看都是一样的。1948年，他的合作者拉尔夫·阿尔菲（Ralph Alpher）和罗伯特·赫尔曼（Robert Herman）甚至计算出了宇宙火球的温度现在已冷却降到5开氏度。

1965年，伽莫夫-阿尔菲-赫尔曼对最初大爆炸的这种"回声"或背景辐射的预测得到了惊人的验证。新泽西州霍尔姆德尔的贝尔电话实验室的科学家们建造了一个巨大的无线电天线——霍尔德·霍恩天线，它能传递地球和通信卫星之间的信息。令他们沮丧的是，科学家阿诺·彭齐亚斯（Arno Penzias）和罗伯特·威尔逊（Robert Wilson）发现，天线收集了令人讨厌的在微波范围的背景辐射。不管天线指向哪儿，都能收到这个

奇怪的辐射。令人恼火的是，科学家们检查了他们所有的数据并清洁了他们的设备（甚至清洁了天线上的鸽子），但这种辐射持续存在。

最后，仪器被放在高空喷气式飞机上和气球上以摆脱地球的干扰，但这个奇怪的信号变得更加强烈。当科学家绘制出辐射强度和频率之间的关系时，它与伽莫夫和其他人多年前预测的曲线非常类似。他们测得的温度为3开氏度，接近宇宙火球最初温度的预测。令彭齐亚斯和威尔逊高兴的是，他们发现这种辐射正是过去预言的背景“回声”。这种3开氏度辐射至今仍是最确凿的证据，它证明宇宙起源于灾难性的爆炸。这个出色的侦探工作使彭齐亚斯和威尔逊赢得了1978年的诺贝尔物理学奖，它令人震惊地证实了大爆炸。

另一种研究广义相对论奇特性质和早期宇宙的方法是检查由大质量死星（黑洞）引起的时空扭曲。



黑洞

什么是星星？很简单，它是个巨大的原子炉，释放储存在强力中的能量。恒星燃烧氢气作为燃料，产生氦的“灰烬”。汉斯·贝特（Hans Bethe）在1939年得出了太阳和其他恒星中氢以及其他元素燃烧的基本方程，为此他获得了1967年的诺贝尔奖。

恒星作为一个稳定的物体存在是因为它内部的核火和重力的微妙平衡——内部的核火让恒星爆炸，重力将恒星挤压到某一点。换句话说，恒星的存在是因为强力产生的能量与重力保持平衡。强力产生的能量倾向于爆炸，重力倾向于内聚。

然而，当恒星的燃料（主要是氢、氦和较轻的元素）经过数十亿年消耗殆尽时，这种微妙的平衡就破坏了。一旦核燃料耗尽，重力接管了一切——如果重力足够大，恒星会收缩，将原子压成一个致密的中子球，产生一颗死星，称“中子星”。

中子星密度非常大，以至于恒星的单个中子实际上是互相“接触”的。中子星是核子物质的没有空隙的实体，没有任何原子或轨道电子和原子核之间的空间。试想以下场景，产生中子星所必需的巨大的收缩，比地球大得多的太阳被挤压成小到曼哈顿的大小。

天文学家已发现了许多中子星。回到1054年，中国天文学家在天空

观察到一次巨大的神秘爆炸，甚至在白天也能看见。今天，我们知道了这是一颗罕见的“超新星”，一颗恒星的灾难性爆炸，产生的能量比整个星系产生的能量还多。这颗超新星发生在蟹状星云，爆炸的中心现在是中子星。

如果原始恒星足够大（也许比太阳的质量大几倍），中子星本身会不稳定——重力太大以至于中子会相互挤压，最终挤压至一个无穷小的点。这个点粒子就是黑洞。

黑洞引力场的像钳子一样的抓力十分巨大，以至原子核被撕裂，光子无法逃脱并被迫绕此星运行。这意味着，这些死星发出的光不能被我们直接看到，所以洞看起来是黑的，因此得名。

就像爱丽丝梦游仙境的柴郡猫一样，黑洞从视野中消失了，只留下了它的“微笑”，空间-时间的扭曲是强烈引力的结果。

此外，黑洞造成的空间-时间严重扭曲与我们早期的宇宙非常类似。例如，你在黑洞中心附近，时间会变慢。这意味着，如果你掉进黑洞，看起来你可能在减速，直至你被时间冻结，经历几千年时间才以慢动作的模样陷入中心。你距离黑洞中心越近，时间将变得越慢。事实上，在黑洞的中心，据说时间会停止。（这可能意味着广义相对论在黑洞的中心失效。当我们计算广义相对论的量子修正时，必须用超弦理论代替。）

黑洞最初是罗伯特·奥本海默（J.Robert Oppenheimer）和他的学生哈特兰·斯奈德（Hartland Snyder）在1939年根据相对论的结果在理论上提出的假设。虽然奥本海默也对想象延伸至极限的广义相对论的惊人结论感到吃惊，但1994年夏天的哈勃太空望远镜发现了银河系附近的M87星系（距地球5000万光年）包含有一个黑洞。1995年1月，使用射电望远镜阵列在NGC4258星系中发现了第二个黑洞（距地球2100万光年）。

黑洞的另一个可能的候选者是恒星天鹅座X-1，距离地球大约6000光年之外，那是一个巨大的X光辐射。事实上，很难想象除了重力收缩之外，还有其他的物理力可以解释像天鹅座X-1这样的巨大的能量输出。我们自己星系的中心也许有无数未被发现的黑洞，神秘的强烈辐射和重力场区域。（望向星空，数百万颗恒星像一个微弱的光带横跨夜空，我们称其为银河系。我们看不到耀眼的中心，因为它被尘云遮住了。然而，从邻近中心拍摄的照片可以看出，星系很明亮。）

未来，科学家将利用这些死星的数据测试广义相对论的重要方面。一位物理学家对我们理解黑洞的量子力学做出了巨大贡献，他是斯蒂芬·霍金（Stephen Hawking）。他与巨大的身体障碍作斗争，成为了相对论领域的一位巨人。霍金失去了对手、腿和嘴的控制，但他拥有了大脑的计算。



斯蒂芬·霍金——量子宇宙学家

有些人宣称，斯蒂芬·霍金是爱因斯坦的后继者。从某种意义上看，他走得更远或许是因为他试图使用量子力学计算对黑洞动力学的修正。霍金，通过观察量子关联的影响预言了爱因斯坦从未预言过的现象。他引入了黑洞可以“蒸发”并变成微型黑洞的概念。换句话说，他认为，一些光能逃离黑洞巨大的引力——根据海森堡测不准原理，存在有限的以及小概率光束可通过引力以“泄漏”的方式逃脱黑洞巨大的抓持力。黑洞能量的损失最终创造了一个小黑洞，可能小至一个质子。

霍金年轻时就对科学产生了浓厚兴趣。他的父亲是伦敦国家研究所的医学研究员，早年就向他介绍了生物学。霍金回忆：

> 我总想知道每件事背后的工作原理。大约15岁时，我经历了对ESP非常感兴趣的阶段。我们一群人甚至进行了掷骰子实验。之后，我们听到了一个人的演讲，他完成了莱茵杜克大学所有著名的ESP实验。他（演讲者）发现，每当他们得到实验结果时实验技术总有缺陷，而实验技术很好时他们却得不出结果。所以，它使我（演讲者）明白，这完全是一场骗局。

尽管霍金才华横溢，但他在牛津大学只是一名普通的学生，缺乏伟大科学家那样的动力和决心。接着，悲剧发生了，这改变了他的生活方向。作为剑桥大学的一年级研究生，他发现自己跌跌撞撞，慢慢失去了对四肢的控制。他被诊断患有葛雷克氏症病（肌萎缩性侧索硬化症），此病无法治愈，会无情地消耗掉他胳膊和腿的肌肉。

后来，霍金有了一种特殊的机械翻页器，使他能阅读数学方程式。他的几个助手曾受过专门训练去理解他缓慢且痛苦的喃喃自语，因为他在很大程度上失去了对口腔肌肉的控制，说出一个字也需要花费相当长的时间。尽管如此，他仍在数百位杰出的科学家面前作了博学的科学演讲。一个残废人，坐在电动轮椅上环绕布里奇大学校园忙碌地巡游。

霍金的桌子上堆满了世界各地的同事发来的数学文章以及粉丝的来信，从好心人到试图出售最新的毛骨悚然的想法的疯子。他曾对记者说，“出名真让人讨厌。”

霍金从哲学上说，“我想，现在的我比开始工作之前更快乐了，在疾病发作之前我非常厌倦生活。”

广义相对论是一门学科，科学家们例行公事地要写几百页的代数方程。然而，霍金在物理学家中独一无二，因为他被迫在自己脑子里进行着这些计算。虽然他在进行这些计算时得到过学生的一些帮助，但霍金像爱因斯坦、费曼以及其他伟大的科学家一样，用图像表达基本的物理概念，然后再用数学。



平坦度之谜

在爱因斯坦方程的旧框架中，有两个主要的问题一直没有令人满意的解。幸运的是，量子力学的应用为这两个问题提供了一个可接受的解。

我们瞭望天空，宇宙最令人困惑的特征之一是，看起来太平坦。这很不寻常，因为根据爱因斯坦的方程，我们预计宇宙会有一些可测量的曲率，或正或负。

其二，不管我们从任何角度看宇宙，它都有同样均匀的星系密度。事实上，如果我们看一个星系，一个10亿光年星系在一个方向，另一个10亿光年星系在另一个方向，它们看起来几乎一样。这非常奇怪——没有任何速度可超越光速，两个如此远的星系的密度为何保持为相同的密度，即便光速也不能在如此短的时间跨越如此大的距离。

这两个谜题的答案是由麻省理工学院的阿兰·古斯（Alan Guth）提供，由宾夕法尼亚大学的保罗·斯泰恩哈特（Paul Steinhardt）和莫斯科的俄罗斯物理学家A.林德（A.Linde）改进的。根据他们的计算，当宇宙年龄在10^{-35}—10^{-33}秒之间时，它经历了指数级扩张，其半径增加了惊人的10^{50}倍。这一“膨胀”发生在大爆炸之前，甚至比标准的大爆炸阶段还快。

我们的宇宙经历了如此巨大的膨胀解释了这两个谜题。首先，我们的宇宙似乎是平坦的，因为宇宙在极短的时间就能增大10^{50}倍。想象气球被吹大的类比——如果气球比以前大了几万亿倍，它的表面一定会非常平坦。

膨胀的情景也解释了宇宙的均匀性。因为，在接近膨胀期开始时，整个宇宙的可见部分只是宇宙表面的一个小斑点，这个小斑点可能是混合均匀的。膨胀只是将这个均匀的斑点吹成了我们现在可见的宇宙。那个微小的斑点现在包括了我们的地球和银河系，以及我们望远镜能看到

的最远的星系。



我们的宇宙不稳定吗？

除了宇宙膨胀之外，还有另一个从GUT和超弦理论得出的令人不安的地方——担心人类宇宙的灾难性毁灭。

古人经常猜测地球的终结，或终结于火，或终结于冰。现代，最合理的答案是，天文学认为，地球会终结于火——太阳用完氢燃料后将燃烧未使用的氦燃料，之后会出现巨大的扩展，扩展至今天火星轨道的距离，成为一个红巨星。这意味着，地球将被太阳的大气层蒸发，我们将被烘烤，我们体内的所有原子都会在太阳的大气层中被分解。（这场灾难发生在未来几十亿年。）

GUT和超弦理论允许一个比地球蒸发更大的灾难。物理学家预测，物质总是试图寻找能量最低的状态（也称“真空状态”）。例如，水总是试图顺流而下。如果我们筑坝拦河，大坝后面堆积的水将处于“假真空状态”，非真实的最低能量状态。这意味着，大坝后面堆积的水更倾向于冲破大坝，流到大坝下面的“真真空状态”，但它不能流到大坝下面。

通常，大坝足以将水保持在“假真空状态”。然而，根据量子力学，总是一定概率的水“量子跃迁”并穿过大坝；根据不确定性原理，由于你不知道水的确切位置，确有一定的可能性在你最意想不到的地方找到它（大坝的另一侧）。物理学家猜测，水确有“隧穿”通过屏障的可能。

这给我们留下了一个令人不安的想法。也许，我们整个宇宙暂时处于“假真空状态”。如果我们的宇宙不是能量最低的宇宙？如果存在另一个能量更低的宇宙，突然发生量子转变？

这将是灾难性的毁灭！在新的真空中，物理和化学定律可能会被重新定义得面目全非。我们今天所知的物质甚至可能不复存在，全新的物理和化学定律会出现。人们常说物理定律是不变的，然而，如果宇宙突然量子跃迁至一个更低能量状态（或“真真空状态”），我们所知物理定律也将完全改变。



这场灾难将如何发生？

量子跃迁的一个简单可视化例子是水的沸腾。请注意，沸腾不是立即发生的，而是在某些地方产生迅速膨胀的气泡，气泡最终合并产生蒸汽。类似地，如果量子跃迁进入另一个低能真空，我们的宇宙可能会形成“气泡”。之后，这些气泡以接近光速或以光速膨胀（这意味着，我们永远不知道是什么打击了我们）。在泡沫里，可能会出现奇怪的物理和化学定律。天文学家可能永远看不到这些气泡，因为膨胀的速度实在太快。当这个气泡突然撞击地球时，我们可能正在洗衣服。突然，我们身体里的夸克完全分裂，将我们溶解到亚原子粒子的混沌等离子体中。

然而，我们不必过于担心这样的灾难，因为我们的宇宙在过去的100亿—200亿年里相对稳定。也许，它已达到了最低能量状态，虽然我们不能完全排除存在另一个更低能量状态的宇宙的可能性。



大爆炸之前

确实，根据超弦理论，我们的宇宙可能是不稳定的，可能给我们带来灾难。先忽略这个小概率灾难，超弦理论给我们带了一个优点——它回答了大爆炸之前发生了什么。

正如我们之前提到的，根据超弦理论，宇宙始于十维。也许，十维宇宙处于“假真空状态”，它是不稳定的。那么，十维宇宙量子跃迁至一个低能状态只是时间问题。

我们现在相信，宇宙最初的膨胀起源于一个更大、更具爆炸性的过程：十维时空的结构的破裂。就像大坝决口那样，十维时空结构的破裂迅速重新形成了两个独立的低能宇宙——四维宇宙（我们自己的）和一个六维宇宙。

这次爆炸的猛烈可容易地产生足够的能量推动膨胀的进程。标准的

大爆炸将在稍后出现，这时膨胀过程会慢下来，向传统的膨胀宇宙过渡。

四维宇宙以牺牲六维宇宙为代价而膨胀，六维宇宙缩小至普朗克长度。这解释了我们的宇宙为何看上去是四维的——其他六个维度尽管无处不在，但它实在太小而不可视。

尽管我们还不能在实验上证实这种描述，迅速发展的宇宙学领域仍然不断给出了关于物质本质的诱人线索。一些物理学家认为，我们关于宇宙的许多问题的答案可能隐藏于被称为“暗物质”的物质中，它也许是宇宙中最神秘的物质形式。

10　暗物质的神秘

随着超导超级对撞机项目的取消，一些评论家公开推测，物理学“行将结束”。像超弦理论这样有前途的想法，无论多么引人注目和优雅，永不会被测试，也永不会被验证。一些物理学家持乐观态度——如果超弦理论的证据在地球上找不到，离开地球进入外层空间或许是一个解决办法。未来，物理学家将越来越依赖宇宙学来探索物质和能量内部的秘密。他们的实验室将是宇宙和大爆炸本身。

宇宙学已给了我们几个谜团，或许是破解物质终极性质的线索——其一，暗物质，占宇宙的90%；其二，宇宙弦，我们将在11章讨论。



世界是由什么构成的？

20世纪科学最伟大的成就之一是，确定了宇宙的化学元素。科学家只用很少的100多种元素就能解释万亿种可能的物质形式，从脱氧核糖核酸到动物，再到爆炸的星星。构成地球的元素——如碳、氧和铁——也是构成遥远星系的元素。科学家指出，根据距离我们星系数10亿光年的炽热恒星发出的光线分析，它具有我们熟悉的元素且不多不少。

事实上，我们探索了宇宙中的很多地方，一直未发现新的神秘元素。宇宙是由原子和它们的亚原子构成的，这是物理学的结论。

20世纪末，大量新数据证实，超过90%的宇宙是由无形的未知物质或暗物质构成。事实上，我们看到的天上的星星只占宇宙真实质量的一个小比例。

暗物质是一种奇怪的物质，不同于以往碰到的任何物质。它有重量，但不可见。理论上，如果有人手里拿着一团暗物质，别人完全看不到它。暗物质的存在不只是学术问题，因为宇宙的终极命运（无论是炽热的大挤压或是呜咽中的大冷寂）取决于暗物质的精确性质。

超弦预测的“高质量亚原子振动”是暗物质的主要“候选者”。因此，暗物质或许能给我们一个探索超弦本质的实验线索。即使没有超导超级碰撞机，科学也能探索新的超越标准模型的物理学。



一个星系有多重？

第一个怀疑关于我们对宇宙的概念有问题的科学家是弗里茨·兹维基，加利福尼亚理工学院的瑞士籍美国天文学家。20世纪30年代，他研究大约3亿光年之外的彗发星系团且感到困惑——它们彼此旋转太快，应该非常不稳定。为了证实自己的怀疑，他不得不计算一个星系的质量。因为一个星系或许包含有数千亿颗恒星，所以计算它们的质量非常棘手。

存在两种简单的方法。事实上，这两种方法产生了惊人的不同结果，造成了宇宙学目前的危机。

第一种方法，我们可以数星星。这似乎是不可能的任务，但确实很简单。我们知道星系的粗略的平均密度，然后乘以银河系的总体积。（这与我们计算头发数量的方法类似，如确定金发女人的头发的数量少于黑发女人。）

此外，我们可以计算恒星的平均质量。当然，没人真正将星星放在秤上。天文学家寻找双星系统，两颗恒星彼此围绕旋转。一旦我们知道了一个完整的旋转需要的时间，牛顿定律足以确定每颗恒星的质量。确定了星系中恒星的数量，按每颗恒星的平均重量作乘法，我们能得到银河系的大概质量。

第二种方法，将牛顿定律直接应用于银河系。例如，银河系旋臂上的遥远恒星，不同距离的星星以不同的速度环绕银河中心旋转。此外，星系和群星彼此围绕着旋转。一旦我们知道了这些不同转动所需要时间，我们可以使用牛顿运动定律确定星系总质量。

兹维基计算了将这些群星束缚在一起所需的质量，通过分析它们彼此围绕旋转的速度，他发现得出的质量是这些发光恒星实际质量的20倍。在一份瑞士的杂志上，兹维基说，这两个结果之间存在根本差异。他假设，一定存在某种神秘的“黑色物质”或“暗物质”，它的引力将银河系聚集起来。没有暗物质的存在，彗发星系应该飞走。

兹维基之所以假设暗物质的存在，是因为他坚信，在银河系这样的距离上牛顿定律依然适用。（这不是科学家第一次基于对牛顿定律的信仰预测出看不见的物体。事实上，海王星和冥王星被发现也有类似情况——行星轨道摇摆不定偏离了牛顿的预测，科学家们坚持牛顿定律，直

接预言了新的外行星的存在。）

然而，兹维基的结果却遭到了天文学界的冷遇，甚至是敌意。毕竟，爱德文·哈勃发现银河系以外存在星系仅过了9年，大多数天文学家认为他的结果不成熟。

兹维基的结果很大程度上被忽视了。多年来，天文学家偶尔会重新发现它们，但都作为异常拒绝考虑。例如，20世纪70年代，天文学家使用射电望远镜分析了星系周围的氢气，发现它的旋转速度比我们认为的要快，但仍然未重视这个结果。

1973年，普林斯顿大学的耶利米·奥斯特里克（Jeremiah Ostriker）和詹姆斯·皮布尔斯（James Peebles）通过星系稳定性关系的严格理论计算复活了兹维基的假设。在那之前，多数天文学家认为，星系与我们的太阳系相似，内行星的速度比外行星快很多。例如，水星是以希腊的速度之神命名，因为它以每小时107000英里的速度穿越天空。距离太阳更远的冥王星在太阳系中移动缓慢，其速度为每小时10 500英里。如果冥王星绕太阳运行的速度和水星一样，它会很快飞入外层空间，永不返回——太阳的引力不足以吸住冥王星。

奥斯特里克和皮布尔斯得出，一个星系的标准图像是不稳定的。按理说，银河系应该会分裂，恒星的引力不足以将银河系整体维系在一起。然后，他们进行了展示，如果一个星系被一个巨大的看不见的将星系聚集在一起的光环包围，其中90%的质量以暗物质的形式出现在光环中，这个星系应该能稳定。不过，他们的论文也受到了冷漠。

经历了几十年的怀疑和嘲笑后，华盛顿哥伦比亚特区卡耐基学院的天文学家薇拉·鲁宾（Vera Rubin）和她的同事的仔细而持久的研究结果最终改变了人们对暗物质的看法。他们分析了几百个星系，最终证实了星系中的外恒星与内部恒星的速度没有太大的不同，与太阳系中的行星相反——太阳系中的行星速度存在较大差异。同时，这意味着，外部恒星应飞进太空，互相远离，导致星系被分裂成数10亿颗独立的恒星。欲维持星系的稳定状态，除非存在一种无形的暗物质，它们的引力实现聚集。

就像暗物质本身的历史，几十年时间，薇拉·鲁宾一生的成果才得到了怀疑者（大多数为男性）天文团体的认可。



一个女人的挑战

女性科学家很难被男性同龄人接受。事实上，鲁宾博士职业生涯的每一步历程都危险地接近于被男性的敌意破坏。20世纪30年代，她开始对星星感兴趣，10岁的孩子凝视华盛顿哥伦比亚特区的夜空可持续几个小时，甚至绘制流星轨迹的详细地图。

她的父亲是电气工程师，鼓励她追求对星星的兴趣。父亲在女儿14岁时为她制作了第一个望远镜，带她去参加华盛顿业余天文学会议。然而，在家庭内部感到的温暖和鼓励与外部世界受到的冷淡接待形成了鲜明对比。

当她向斯沃斯莫尔学院申请时，招生官员试图将她从天文学引向更“淑女”的画天文题材的专业，这成了她家里的一个标准笑话。她回忆，“只要我工作中出了问题，一定会有人说，‘你可否考虑过画画的职业？’……”

当被瓦萨大学录取时，她在走廊上自豪地将此消息告诉了自己的高中物理老师。老师直言不讳地回答，“远离科学，你会做得很好。”（多年后，她回忆，“听到这样的话，需要有多大的自尊才不会泄气。”）

瓦萨大学毕业后，她于2006年申请了在天文学上享有世界声誉的普林斯顿研究生院。然而，她甚至连学校的大学课程目录也未收到。普林斯顿在1971年之前不接受天文学的女研究生。

此后，她被哈佛录取了，但她拒绝了。因为她刚和物理化学家罗伯特·鲁宾结婚，追随他一起去了康奈尔大学，那里的天文系只有两名教员。（她拒绝后，得到了一封哈佛的正式回信，信的底部是手写的潦草的字，“该死的女人！每次，我准备好了，她走了，结婚了！”）

事后再看，前往康奈尔大学非常正确，因为鲁宾参加了1997年两位诺贝尔奖获得者汉斯·贝特（Hans Bethe）和理查德·费曼（Richard Feynman）的物理学研究生课程。汉斯·贝特破译了复杂的激发恒星能量的聚变反应；理查德·费曼重整化了量子电动力学。她的硕士论文直面了男性主宰的世界的敌意。她的论文表明，遥远的星系偏离了宇宙大爆炸模型中的星系的简单的均匀膨胀模式。对当时的人来说，这难以令人信服，论文出版遭到拒绝。（几十年后，她的论文被认为是预言。）

从康奈尔大学获得硕士学位后，鲁宾发现自己是个不快乐的家庭主

妇。“每次收到《地球物理杂志》我都会哭……在我受过的教育中，没有家务这一项。在康奈尔大学，我的丈夫做科研，我却只能在家里换尿布。”

尽管如此，鲁宾还是努力追寻自己童年的梦想，尤其是丈夫在华盛顿找到工作之后。她通过夜校在乔治敦大学获得博士学位。1954年，她发表了博士论文，那是一项里程碑式的研究。它表明，天空中星系的分布绝非以前人们的认为——它是不平滑和不均匀的，实际上是块状的。

不幸的是，她超前了她的时代。她获得了古怪的名声，反对主流的天文学思想。她的想法需要多年时间才能得到认可。

鲁宾为自己工作引起的争议感到苦恼，决定休息一下，研究天文学中一个最平凡的领域——星系的旋转。鲁宾开始研究距离我们最近的太空邻居——仙女座星系。她和她的同事期望发现仙女座星系外缘旋转的气体比中心附近的气体速度更慢，像太阳系那样，远离核心时气体的速度应该减慢。

令他们惊讶的是，他们发现，气体的速度为常数——无论是中心附近还是边缘附近。起初，他们认为这种奇特的结果是仙女座星系独有的。然后，他们系统地分析了几百个星系（自1978年以来，研究了200个星系）并发现了同样奇怪的结果。兹维基是对的。

他们的观察结果的重要性是无法估量的，一个又一个星系显示出了相同的平坦曲线。自兹维基时代以来，天文学在技术上变得更精密，一些其他实验室也能更快地验证鲁宾的结果。旋转星系旋转速度的恒定性，现在成为了银河物理学的普遍事实，暗物质藏在这里。

由于她的开拓性努力，薇拉·鲁宾在1981年被选入久负盛名的国家科学院。（自1863年成立以来，3508名科学家中只有75名女性被选入。）

今天，鲁宾仍为女性科学家的地位痛心。她的女儿拥有宇宙射线物理学博士学位，女儿去日本参加一个国际会议时发现自己是参会的唯一女性。“很久以来，每当我讲自己的故事时，都禁不住流泪，”鲁宾回忆道，“在她和我这代人之间，几乎没有改变。”

毫不奇怪，鲁宾对激发年轻女孩追求科学研究非常关注。她甚至撰写了一本儿童书籍，题为《我的祖母是天文学家》。



弯曲星光

自鲁宾的原始论文以来，对宇宙进行的更精细的分析显示了暗物质光轮的存在，甚至可能是银河系本身大小的6倍。1986年，普林斯顿大学的博丹·帕钦斯基（Bodhan Paczynski）意识到，“来自遥远恒星的光经过暗物质团附近，暗物质也许会弯曲星光，起到放大镜的作用，使星星看起来更加明亮。”鉴于此，通过观测，突然变亮的暗淡恒星或能检测暗物质的存在。1994年，两个小组独立报告，拍摄到了这种星星的变亮现象。此后，其他天文学家团队加入进来，希望能找到更多恒星变亮的例子。

星光被遥远星系弯曲可以用作计算星系重量的另一种方法。贝尔实验室的托尼·泰森（Anthony Tyson）和他的同事们分析了从可见宇宙边缘发出的暗淡的蓝色星系发出的光线。这个星系团像引力透镜那样弯曲从其他星系发出的光。遥远星系的照片证实弯曲比人们预期的更大，这意味着它们的重量远超人们的预期。这些星系的质量有90%是暗物质，如同人们的预测。



冷热暗物质

虽然暗物质的存在不再有争议，但它的成分仍是一个充满争议的话题。目前，已出现了几个学派，但都不能令人满意。首先是“热暗物质”学派，他们认为这种暗物质是由人们熟悉的轻质子物质组成，比如中微子（众所周知，很难检测）。充满宇宙的中微子的总流量并不广为人知，宇宙极有可能沐浴在构成宇宙的中微子的洪流中。

例如，如能发现电子中微子（三种中微子之中的一种）有一个小的质量，那么，它或有可能弥补缺失质量的问题。（1995年2月，新墨西哥州的洛杉矶阿拉莫斯国家实验室的物理学家宣布，发现了电子中微子质量很小的证据——电子质量的百万分之一。然而，这个结果在最终被

接受之前，还必须得到其他实验室物理学家的验证。）

其次是“冷暗物质”学派，它怀疑暗物质由更重、移动更慢、更奇异的亚粒子组成。过去10年，物理学家一直在寻找可能构成冷暗物质的奇异候选者。这些粒子被赋予了离奇的名字，比如“轴子”以家用洗涤剂命名。它们被统称为“WIMP”，代表“弱相互作用大质量粒子”。（怀疑论者反击，他们指出，暗物质的很大一部分可能由常见但模糊的普通物质组成，例如红矮星、中子星、黑洞和木星大小的行星。他们称这些物体为“MACHO”，代表“巨大的天体物理学致密晕物体”。然而，即使是“MACHO”的支持者也承认，充其量，他们只能解释20%的暗物质问题。1994年底，一种版本的“MACHO”理论受到了严重打击，哈勃太空望远镜扫描银河系的红矮星时发现这些暗淡的恒星比人们预期的要少很多。）

也许，弱相互作用大质量粒子最有希望的候选者是超粒子。前面说过，超对称最初被认为是超弦理论中的粒子物理学上的对称性。事实上，超弦可能是唯一完整的超粒子的一致理论。

根据超对称，每个粒子必有一个具有不同旋转的超级伙伴。例如，轻子（电子和中微子），自旋为$\frac{1}{2}$。它们的超级伙伴被称为“超轻子”，自旋为0。同样，夸克的超级伙伴被称为“超夸克”，自旋为0。

此外，自旋为1的光子的超级伙伴（它描述光）被称为“光微子”。胶子的超级伙伴（将夸克聚集在一起）被称为“超胶子”。

对超粒子的主要批评是，我们从未在实验室见过它们。目前，无任何证据表明这些超粒子存在。不过，人们普遍认为，缺乏证据的原因是，我们的原子粉碎力太弱，无法制造超粒子。换句话说，它们的质量对我们的原子粉碎机来说太大了，无法制造它们。

然而，缺乏具体证据并不能阻止物理学家试图用粒子物理学解释暗物质的奥秘和宇宙学。例如，一些人认为，弱相互作用大质量粒子主要的候选者之一是光微子。

因此，取消超导超级对撞机并不一定意味着验证超弦正确性的尝试失败。未来10年，希望天文仪器的精确度能达到更高水平，新一代的望远镜和卫星部署或许会缩小暗物质的候选范围。如果人们对暗物质的研究能更进一步，即便只有少部分由超粒子组成，超弦理论也会得到巨大的推动。



宇宙将如何死亡？

最后，暗物质可能对理解宇宙的终极命运具有决定性作用。有关膨胀宇宙的命运一直持有争议——一些人认为，有足够的物质和重力逆转它的膨胀；一些人认为，宇宙密度太低，星系会继续膨胀，直至宇宙周围的温度接近绝对零度。

目前，试图计算宇宙的平均密度表明，后者是正确的——宇宙将永远膨胀，死于哀鸣或严寒。然而，这一理论面临实验的挑战。具体来说，很可能存在足够的丢失的物质增加宇宙的平均密度。

为了决定宇宙的命运，宇宙学家使用名为“欧米茄（ω）”的参数测量宇宙的物质密度。

如果ω大于1，宇宙将有足够的物质逆转宇宙膨胀，宇宙将开始收缩，直至到达大挤压。

如果ω小于1，宇宙的重力太弱，无法改变宇宙的膨胀，宇宙将永远膨胀，直至接近绝对零度，达到宇宙严寒。

如果ω等于1，宇宙在这两种情况之间平衡，宇宙会显得非常平坦，没有任何弯曲。（为了使ω等于1，宇宙的密度必须为每立方米大约3个氢原子。）目前的天文数据偏向于ω的值为0.1。

大爆炸理论的主要修正是膨胀宇宙，该修正精确地预测ω值为1。然而，有史以来，天上可见的星星只给了我们1%的临界密度。这被称为“缺失质量”问题，灰尘、棕矮星和不发光的恒星或许会少许增加这个数字，但不会增加太多（不同于暗物质问题，它是纯粹基于银河系考虑的）。例如，核合成的结果表明，这种形式的不发光物质的密度值不能超过临界密度的15%。

即使我们加上星系周围的暗物质晕，也只会给我们带来10%的临界值。所以，光环中的暗物质本身并不能解决质量缺失的问题。

除了仍未解决的暗物质问题，还有一个同样令人费解的宇宙之谜——星系如何聚集成巨大的星系团。这个问题的解决办法或许要涉及另一种弦理论——“宇宙弦”。

11　宇宙弦

当然，超弦被认为是极微小的振动物体，太小而不能被看见或不能被我们弱小的仪器探测到。一些物理学家推测，在大爆炸后不久，可能会有巨大的宇宙弦漂浮于太空，甚至比星系本身还大。（这些宇宙弦的灵感来自超弦，使用了许多相同的方程式，尽管它们是物理上不同的物体。）

根据这个理论，在这些古老的蠕动的宇宙弦之后留下的振动才是我们在天上看到的星系团，包括我们自己的。也许你会认为，横跨数十亿光年空间的美妙宇宙弦的猜测太幻想化。然而，宇宙弦非常实用，它们或许能解释宇宙学中最棘手的谜题之一——宇宙的“结块”。如能经过验证，我们的太阳系或许也得归功于这些宇宙弦。

（宇宙弦在电影《星际迷航：世代》中占据了显著位置。电影情节围绕一个巨大的在银河系漫游的宇宙弦展开——宇宙弦巨大的能量场毁灭了联邦星舰，制造了星际浩劫，甚至在时间扭曲中捕获了詹姆斯·柯克船长和让·卢克·皮卡德船长。任何一次在宇宙弦表面着陆都是瞬间进入一个天堂般的梦想世界，那里所有的愿望都将得到实现。）



为什么宇宙如此拥挤

20世纪70年代，天体物理学家相信，大爆炸理论可以解释宇宙很多定性和定量的特点。而后，大家在分析星系的大规模分布时发现了一些令人不安的结果。这些新结果虽未推翻大爆炸理论，但却强迫宇宙学家改变自己的理解。

出现了两个相互矛盾的结果（均匀分布和非均匀分布）。来自遍及宇宙的宇宙微波辐射（“大爆炸的回声”）的数据，说明大爆炸在各个方向是均匀的。不管科学家将他们的仪器指向哪儿，都发现宇宙微波辐射平滑且均匀，均匀的背景辐射充满了均匀的宇宙。事实上，用气球、小型火箭和地面仪器发射的传感器在背景辐射中找不到任何波动。

宇宙微波背景可追溯到宇宙刚刚30万年的时候，这些结果意味着，当时大爆炸的回声很平稳。（大爆炸后30万年，宇宙冷却到可以形成稳定的原子不被高温撕裂。然后，大爆炸遗留下来的辐射可以穿越太空而

不被原子吸收。剩余的辐射形成了我们今天看到的微波背景。）

但是，当天文学家绘制成千上万星系的位置时，他们发现，它们以不同寻常的形式聚集在一起。事实上，星系之间存在巨大的空隙，跨度甚至跨过几百万光年。这些跨越几亿光年距离的空隙和团块可以构成多达5%的可见宇宙。这种聚集开始于大爆炸后大约1亿年。

星系分布中的这种结块是哈佛大学的哈洛·沙皮里（Harlow Shapely）于1933年和弗里茨·兹维基（Fritz Zwicky）于1938年首次观察到的。但他们的数据很粗糙，不足以确定这是否为一个普遍现象。几十年后，先进的计算机、数字分析和自动化技术让天文学家能一次系统地分析成千上万个星系。自动化技术产生了辉煌的包含一万多个星系的银河图，清楚地表明星系并非均匀分布于整个天空，而是聚集在一起，它们之间留有巨大的空隙。

1987年，卡内基学院的亚当·德雷斯尔（Adam Dressier）以及六位合作者发现了一大群星系在距离地球大约2亿光年的范围内一起移动。它们似乎被一个看不见的巨大的质量吸引，科学家称为“巨引源”。他们发现，除了宇宙扩张之外，银河系和其他附近的星系似乎都在奔向巨引源，在利奥星座的方向。

1989年，哈佛大学的玛格利特·盖勒（Margaret Geller）和约翰·修兹劳（John Huchra）宣布发现了一个巨大的星系“墙”，大约5亿光年宽，他们称其为“长城”。然后，天文学家将注意力转向南半球，寻找结块的证据。他们绘制了将近3600个星系的图表，揭示了南墙的存在。后来，图森国家光学天文观测站的托德·劳尔（Tod Lauer）和巴尔的摩太空望远镜科学研究所的马克·波兹曼（Marc Postman）试图通过分析比德雷斯尔小组大30倍的空间检查这些奇怪的结果。他们分析了5亿光年距离的119个星系团，惊讶地发现，巨引源似乎是一个更大运动的一部分。这组更大的星系以大约每秒700公里的速度向处女座星系团行进。

宇宙的结块给大爆炸理论制造了一个难题。如果宇宙在大爆炸后大约30万年是非常平滑的，那么，大约1亿年后，宇宙将没有足够的时间让星系聚集。大多数宇宙学家都认为，对惊人平稳的爆炸产生巨大的星系团来说，这个时间太短。



上帝的脸

这个谜一直是宇宙学的一大难题，直至COBE卫星于1989年被发射到太空，拍摄了第一张宇宙微波背景的综合图片。最后，宇宙学家有了大量关于背景辐射精确特征的信息。

COBE卫星的目标是找到在其他情况下的平滑的微波背景辐射中的微小的温度变化。这些微小的扭结和热点将成为最终生长为我们今天可见的星系团的“种子”。如果COBE卫星未发现任何微小的异常，那么，我们对宇宙演化理论的理解必须进行重大修改。

伯克利的物理学家花了几个月的时间筛选COBE数据。重要的是，他们必须去掉所有与此无关的东西，比如来自银河系的静电、地球和太阳相对宇宙微波背景的运动。

研究结果在1992年4月登上了20世纪70年代世界各大报纸的头版头条。仔细分析表明宇宙微波背景辐射并不均匀，微小的不规则表明这些不均匀实在太小，无法被以前的实验检测到。这些不规则的照片最后交到了记者那里，他们半开玩笑地说，他们在盯着上帝的脸。

根据修正后的理论，这些小的微波辐射异常在大爆炸后30万年就存在了。在接下来的10亿年里，它们的体积不断增大，直到导致星系在太空中随机聚集。计算显示，这些在平滑的辐射中的小的扰动足以引起结块。随着宇宙的膨胀，这些辐射中的微小的扭结的大小也在增加，直到它们逐渐变成我们今天看到的星系团。



暗物质和宇宙的团块

也许，宇宙结块的最简单解释来自暗物质理论。我们记得，宇宙微波辐射代表了大爆炸30万年后的辐射残余。在此之前，普通物质的温度太高，不能形成任何结块——任何试图结块的原子会被强烈的热撕成碎片。天文学家唐纳德·戈德史密斯（Donald Goldsmith）将此比作试图在龙卷风中烤蛋奶酥——你在烤箱里烤一个蛋奶酥，它会被“狂风”吹跑，不过，“狂风”减弱似乎不会有问题。

暗物质是这幅画的一个例外。如果有大量的暗物质存在，结块很可能发生在大爆炸后30万年之前。因为暗物质不与普通电磁辐射相互作用，不受大爆炸后30万年之前存在的强辐射场的影响。暗物质确实有引力，因此，暗物质团很可能在大爆炸后不久就开始形成了。30万年后，普通物质会被这些巨大的暗物质团吸引，形成我们今天用望远镜看到的

星系和星系团。

当然，还有另一种方法解释宇宙的这种结块，通过宇宙弦。

拓扑缺陷

我们对宇宙弦的理解来自我们对普通相变的理解，从晶体的形成到铁磁化过程。例如，固态物理学家意识到相变（例如熔化、冷冻、沸腾）不是平滑、均匀地转变，而是突发事件——从物质原子结构中形成微观“缺陷”开始，然后迅速生长。

当相变即将发生时，这些微小的缺陷会像原子晶格阵列中的断层线一样出现，具有明确的物理形状，如线条和墙壁等形状。拍摄的水即将结冰时的微观照片表明——当细小的线状缺陷和壁状缺陷出现时，缺陷成为“种子”，围绕“种子”生成微小的冰晶。

同样地，在铁被放入磁场中的显微照片里，人们可以看到原子间开始形成微小的“墙”。在由这些墙分隔的每个“域”中，铁原子分别指向某个方向。随着磁场的增加，墙壁融合，所有原子将指向同一个磁场方向。

粒子物理学家认为，当大爆炸开始冷却时，早期宇宙确有类似的缺陷发生。当早期亚原子粒子开始冷却时，它们可能已有类似凝结缺陷，包括弦、墙以及更复杂的被称为“纹理”的结构。

这些古老的宇宙弦类似于普通的磁铁畸形。磁场通常不能穿透超导材料（其电阻为零，并被冷却到接近绝对零度）。然而，磁场却能穿透某些类型的超导体，并形成凝聚磁场的弦。因此，磁场不是无孔不入的，而是集中在穿透超导体的细弦上。

类似地，宇宙弦可以比作早期宇宙的凝聚亚原子场。它们没有端点，它们不是封闭或无限长的。根据这个场景，这个一维断层线在宇宙大爆炸开始后不久就开始冷却并凝结成一张缠结的弦的网遍布整个宇宙。

这些弦有巨大的张力，所以它们会剧烈振动和摆动，通常与其他弦相交。人们认为，宇宙弦跨度为几十万光年，因此形成了星系生长的种子。然而，宇宙弦增长的计算机模拟似乎排除了这种可能性。

20世纪80年代，有人提出宇宙弦通过它们的剧烈运动产生“重力波”的尾流，就像摩托艇穿过湖面时产生的波浪的波峰。这些重力墙稍后会凝结成片状物质，类似于今天发现的星系墙。假设原始宇宙有磁场，那么，这些宇宙弦或许会产生巨大的电场，变成超导体本身。由于这些超导宇宙弦在早期的宇宙中大概率为四处游荡，它们极可能是在推动物质而非吸引物质。无论推动还是吸引，都能解释物质分布的不规则。

这些难题可能会在下一代的实验和观察中得到解决。以前的宇宙地图曾经一次记录了数万个星系的精确位置和速度。芝加哥大学的唐纳德·约克（Donald G.York）正领导几所大学的集体努力试图收集最大的星系登记册，多达100万个星系，始于1995年。自动化和数字化光学仪器的进展使这一之前难以想象的壮举成为可能。这样一个银河地图集对确定是否存在这些异常或能带来帮助。

也许，最重要的一组实验将涉及精练COBE卫星数据。COBE卫星的限制之一是，只能分析最低7弧度的温度变化。

不幸的是，气球实验持续的时间不足以进行可靠的测量，地面传感器会受大气波动的影响。最终，未来的宇宙学实验在另一颗类似COBE的卫星上进行，它能探测0.5弧度内的温度变化。

暗物质、宇宙弦和银河聚集是一些在未来几年将继续引起宇宙学家兴趣和困惑的问题。因为这些概念可以被测量或者测试，我们希望在10年内解决其中许多实验性问题。随着超导超级对撞机的取消，我们将越来越依靠不断膨胀的宇宙信息以探索标准模型的极限和超越这个极限。希望我们可能瞥见，超弦理论和高维时空最迷人的一面。为了更好地理解宇宙的诞生，我们将着力研究十维的时间和空间。

12　通往另一个维度的旅程

回溯1919年，当爱因斯坦仍全神贯注于计算他的新广义相对论的结果时，他收到了一封柯尼斯堡大学（今俄罗斯加里宁格勒市）的不知名的数学家西奥多·弗朗兹·卡鲁扎（Theodor Franz Kaluza）的来信。

信中，卡鲁扎提出了一个新的写出统一场论的方法，将爱因斯坦的新引力理论和麦克斯韦的更古老的光理论结合起来。卡鲁扎提出了一个五维引力理论，代替用三维空间和一维时间描述的理论。有了五个维度，卡鲁扎有足够的空间将电磁力放入爱因斯坦的引力理论。卡鲁扎似乎突然为爱因斯坦正努力的问题提供了一条基本线索。卡鲁扎没有任何证明世界应该是五维的实验证据，但他的理论如此优雅以至于看起来颇有道理。

五维的想法对爱因斯坦来说太怪异，他重点关注了这篇文章，出版推迟了2年。直觉告诉爱因斯坦，这个理论的数学太美丽，它很可能是正确的。1921年，爱因斯坦最终同意普鲁士学院发表卡鲁扎的论文。

1919年4月，爱因斯坦写信给卡鲁扎，“通过五维圆柱体世界实现‘统一场论’的想法我从未明白。乍一看，我非常喜欢你的想法。”几周后，爱因斯坦又写道，“你的理论的统一，令人吃惊。”

然而，大多数物理学家用怀疑的眼光看待卡鲁扎理论。爱因斯坦的四维已足够令他们费解，更别说卡鲁扎的五维了。此外，卡鲁扎的理论提出的问题甚至多于它能回答的问题。如果光与重力的统一需要五个维度且我们的实验室只需四个维度就能测量，第五个维度在哪儿？有何意义？

对一些物理学家来说，这个新理论似乎是一个缺乏物理内容的室内把戏。然而，像爱因斯坦这样的物理学家意识到，这个发现是如此简单且优雅，它很可能是一流的。需要解决的问题是——这意味着什么？

认为世界是五维的，的确很荒谬。例如，打开一瓶装满气体的瓶子并放入一个密封的房间，气体分子通过随机碰撞迟早会扩散至所有可能的空间维度。然而，很明显，这些气体分子只填满了三个维度。

那么，第五维度去了哪儿？爱因斯坦认为，卡鲁扎的诡计太好了，不能仅因为它违背了我们对已知宇宙的直觉而抛弃。再次，仅因为美丽，即便缺乏实验验证也足以让爱因斯坦认真考虑某个理论。最后，在1926年，瑞典数学家奥斯卡·克莱因发现了这个问题可能的解。

卡鲁扎早些时候曾暗示，第五维度完全不同于其他四维，因为它是“卷曲的”，像一个圆圈。克莱因说，这个圆的尺寸太小，它不能被直接观察到，故而宇宙看上去是四维的。

换句话说，房间里释放的气体分子确实能找出所有可能的空间维度，但气体分子太大，无法融入圆形（卷曲的）的第五维度。作为一个结果，气体分子只能融入四维空间。

克莱因甚至计算了第五维度的可能的大小：普朗克长度，即10^{-33}厘米。

克莱因提出了对第五维度在哪儿的问题的卓越的解决方案，但也提出了更多新的问题——例如，为什么第五个维度能裹成一个小圆圈，而其他的维度却能延伸至无限远？

爱因斯坦将在接下来的30年里努力弄明白卡鲁扎-克莱因理论的意义。如前所述，作为统一场论的候选项，他无法解决这个令人困惑的问题。

爱因斯坦在他的后半辈子主要工作于两个方面——第一，他自己的电磁学的几何理论，将光的力量描述为空间-时间结构的简单变形——这条路引出了更复杂的数学，最终是一条死胡同。第二，卡鲁扎-克莱因理论，这幅画很美丽但作为宇宙的模型似乎毫无用处。如果有人能解释第五维度为什么是卷曲的，这个理论将非常有希望。爱因斯坦不时地研究卡鲁扎-克莱因理论，但未取得任何进展。



解决办法：量子弦

在接下来的50年，大多数物理学家都放弃了卡鲁扎-克莱恩的想法，认为它们是纯数学奇异本质的奇怪脚注。这个理论几乎被遗忘，直至20世纪70年代，谢克（Scherk）想知道卡鲁扎-克莱恩将维度卷起的把戏是否可以解决他自己的问题。他和他的同事E.克雷默（E.Cremmer）提出，将此做为从二十六或十维下降至四维的解决方案。

然而，超弦物理学家在解决这个问题时将具有一个非常大的优势——他们可以利用最近几十年来建立的量子力学的全部力量以解决为什么更高维度会卷曲的问题。

以前，我们了解到，量子力学使对称破坏现象成为可能，大自然总是喜欢最低能量状态。尽管我们最初的宇宙或许是对称的，但它有可能处于高能状态，故而会向低能态“量子跃迁”。同理，我们可以相信，最初的十维弦是不稳定的，它可能并非处于最低能量状态。

今天，理论物理学家正在努力证明——超弦模型预测的最低能量状态是六维宇宙已经卷曲，留下了我们的完整的四维宇宙空间。目前的观点是，原始的十维宇宙实际上是一个虚假的真空（假真空状态）——它不是能量最低的状态。

虽然没人能证明，不稳定的十维宇宙量子跃迁到了四维，但物理学家乐观地认为这个理论有极大可能为真，它有丰富的允许其存在的可能。因此，对于试图决胜当代物理学的年轻物理学家来说，解决超弦理论的最重要问题——证明十维宇宙实现了量子跃迁，出现了我们已知的四维宇宙。



方先生

在科幻小说中，更高维度的旅行就像进入了一个奇怪的但类似地球的世界。这些小说中的人是类似于我们的人，但有些扭曲。这种常见的误解是因为科幻作家的想象力实在有限，无法掌握严谨的数学提供给高维空间的真正特征。事实上，科学比科幻小说更奇怪。

理解高维宇宙，最简单的方法是研究低维宇宙。第一个以通俗小说形式从事这项工作的作家是埃德温·阿·艾伯特（Edwin A.Abbott），一位莎士比亚学者，1884年写了维多利亚时代的讽刺小说《平地世界》，描述了生活在两个空间维度（二维）的人们的奇怪习惯。

想象一下，平地上的人们生活在一个桌面上。这个故事由自负的方先生讲述，他告诉了我们一个几何人生活的世界——“在这个世界，女人是直线，工人和士兵是三角形，职业男人和绅士（像他一样）是正方形，贵族是五边形、六边形或多边形。一个人的边数越多，社会地位就越高。一些高级贵族的边数会非常多，以至于他们最终会变成圆，达到最高级别。”

方先生是一个社会地位很高的人，他乐于居住在这个秩序井然的异常宁静的社会里。直到一天，来自太空世界（三维世界）的生物出现在他面前，向他介绍了另一个维度的奇迹。

当太空人看到平地人时，他们能看到平地人的体内并观察他们的内脏。这意味着，在原则上，太空人可以对平地人做手术而不用割破他们的皮肤。

当高维生物进入低维宇宙时，会发生什么？当神秘的太空之主（球体）进入平地世界时，方先生只能看到尺寸不断增加的圆圈穿过他的宇宙。显然，方先生以自己的角度无法完全想象球体的全貌，只能猜测球体身体的横截面。

球体邀请方先生参观太空乐园。这是一段痛苦的旅程，在这段旅程中，方先生从自己习惯的平地世界被剥离，被安置在第三维空间中。

我们可以想象这个过程，当方先生在三维空间移动时，他的眼睛只能看到三维空间的二维横截面。当方先生遇到立方体时，他会认为自己遇上了一个奇妙的东西——在一个正方形中出现了另一个正方形，且不断改变形状。

方先生被他与太空登陆者的相遇震惊，他决定告诉平地世界的同胞自己的这段非凡经历。他的故事被当局认为具有煽动性，可能会扰乱平地世界秩序井然的社会，他被逮捕至法院。审判中，他试图解释第三维，但未能成功。他试图向多边形先生和圆形先生解释三维球体、立方体和太空世界。

方先生被判终身监禁（由围绕他画的一条线组成），并像烈士一样度过此生。（讽刺的是，方先生所要做的是“跳出”监狱进入第三维空间，但这超出了他的理解。）

神学家兼伦敦金融城校长艾伯特先生写《平地世界》是对维多利亚时代他所看到的伪君子的政治讽刺。然而，在他完成《平地世界》100年后，超弦理论要求物理学家认真思考高维宇宙的模样。

首先，一个俯视我们宇宙的十维生物可以看到我们所有的内脏，甚至可以不用割破我们的皮肤做手术。显然，对我们来说，这很荒谬。但这极可能是由于我们对高维思考想象力有限，就像《平地世界》多边形先生们的想法。

第二，如果这些十维生物进入我们的宇宙，将手指伸进我们的房子，我们只能看到一个肉球在半空中盘旋。

第三，如果这些十维生物抓住了一个监狱里的人，并将他放在了其他地方。以我们的视角，我们会认为监狱里的人突然神秘消失，而后魔法式地重现于另一处地方。

在许多科幻小说中，最受欢迎的设备是“传送器”，它允许人们在一眨眼的工夫被送至很远的地方。或许存在一个更复杂的传送器，可以让某人跃入更高维度并在其他地方重新出现。



可视化更高维度

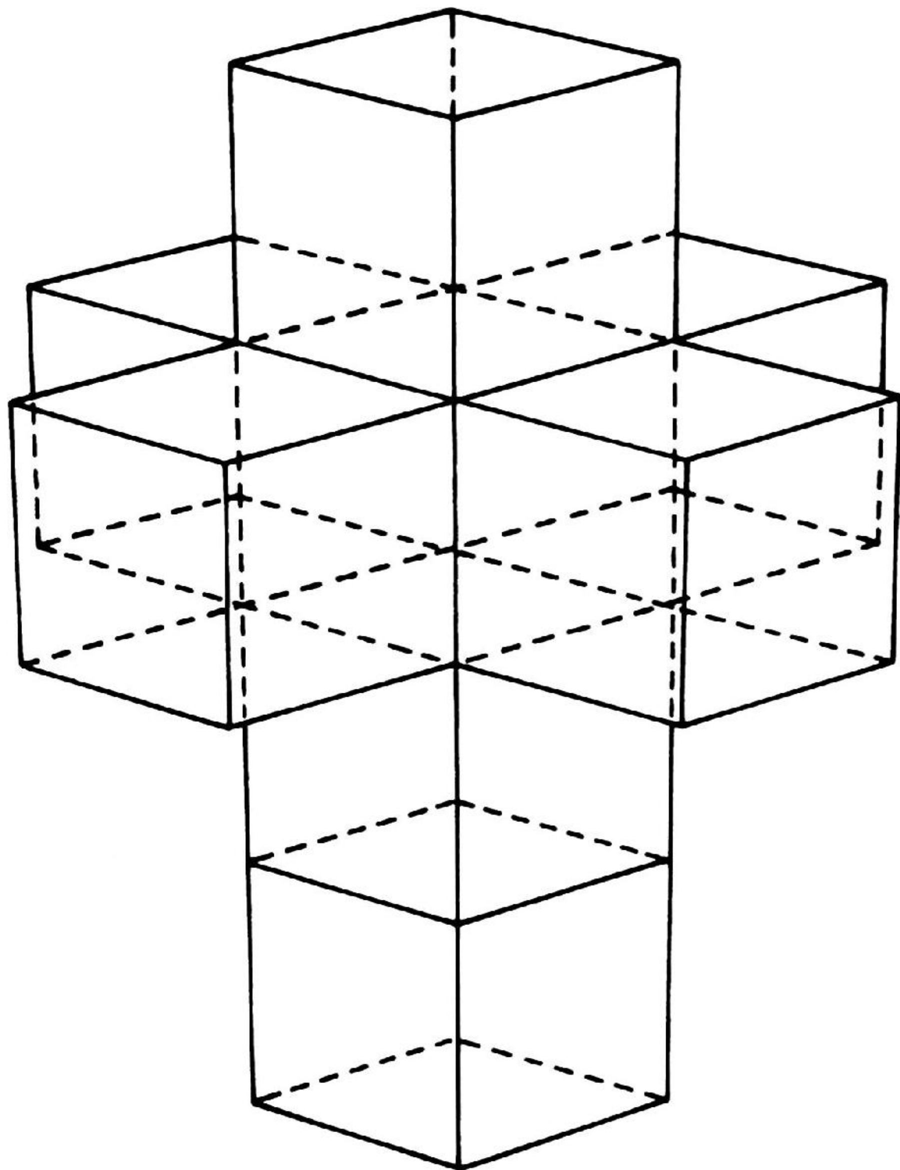
我们的大脑，全是三个空间维度上的概念化物体，无法完全掌握高维物体。物理学家和数学家也只能在他们的研究中用抽象数学处理这些对象（高维物体），而不是试图可视化它们。然而，考虑到与平地人的类比，我们可以用一些技巧来想象高维度的几何对象，如超立方体之类的几何物体。

三维立方体的概念对二维平地人来说，是非常奇怪的。然而，我们至少有两种方法可向他们传达立方体的概念。第一种，我们解开一个空心立方体（三维），会展开为一系列的六个正方形（二维），比如布置为十字形状。

对我们来说，我们能简单地将这些正方形重新折成立方体；对于平地人来说，这是不可能的。同理，一个更高维度的生物可以通过以下方式向我们传达超立方体的概念，解开它直到它变成一系列叫超正方体的三维立方体。

（也许，在萨尔瓦多·达利描绘的基督受难的画中可以找到超正方体的最著名的说明，这幅画在纽约大都会艺术博物馆展出。在那幅画中，抹大拉的玛丽亚（Mary Magdalene）仰望被吊在半空中绑在一系列立方体排列成十字架前面的基督。仔细观察，你会发现，那些十字架并非真正的十字架，而是一个未展开的超立方体。）

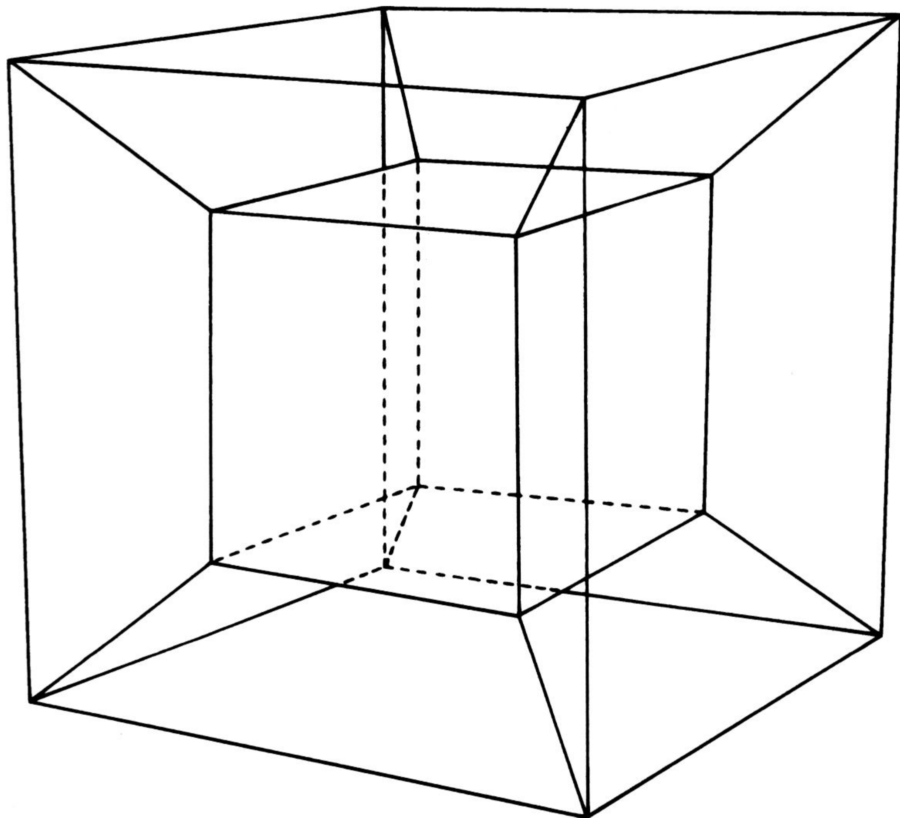
第二种，将立方体的概念直观传达给平地人。如果立方体的边缘是用棍子做的，立方体是中空的，我们可以用一束光照在立方体上，其阴影会落入二维平面。平地人会立即将立方体的阴影识别为一个正方形中的一个正方形。如果我们旋转立方体，立方体的阴影会出现超出平地人理解范围的几何变化。



展开一个三维立方体，我们创造了一系列排列为十字形的正方形。展开一个四维超立方体，我们创造了一系列排列为十字形结构的被称为超正方体的三维立方体。

类似地，侧边由棍子组成的超立方体的阴影在我们看来就像立方体中的立方体。如果超立方体旋转，我们将看到立方体中的立方体出现超出我们理解范围的几何变化。

总之，更高维度的生物可以很容易地可视化较低维度的物体，但较低维度的生物只能看见高维对象的截面或阴影。



四维超立方体投射在三维宇宙中的阴影，看起来像立方体中的立方体。



进入高维空间的旅程

进入第十个维度的旅程会是什么样子？

假设我们决定，将我们的三个手指伸进二维宇宙，将平地人方先生剥离地面，带他进入我们的三维空间宇宙。平地人看到，三个圈围绕在自己的身体周围盘旋，然后迅速靠近并抓住了他。

我们将他从平地拉出，让他靠近我们的眼睛接受检查，此时的平地人只能看到我们宇宙的二维横截面——他看到各种形状出现，生长和收缩、改变颜色、消失，这严重违背了平地人的物理法则。

以胡萝卜为例，我们可以完整地想象胡萝卜的样子，但平地人不能。如果胡萝卜被切成许多圆形碎片，平地人可以看到每一个圆形碎片，但永远不能可视化整个胡萝卜。

现在，我们将平地人从他的二维宇宙中剥离出来，他像纸娃娃一样漂浮在我们的三维宇宙。在我们的宇宙中，平地人仍然不能想象胡萝卜的样子以及我们的世界——因为他的眼睛在自己脸的两侧，他只能在二维平面看侧面。

当胡萝卜尖进入他的视野时，扁平的平地人会看到一个小小的橙色圆圈不知从何地突然冒了出来。此后，平地人将看到，橙色的圆圈逐渐变大——当然，平地人只看到了胡萝卜的每一个相继出现的一片，相当于一个圆圈。

然后，平地人看到橙色圆圈变成了绿色圆圈（对应于胡萝卜顶部的绿色部分）。突然间，绿色圆圈就像它出现时那样神秘地消失了。

同理，如果我们遇到了一个更高维度的生物，我们或许会首先看到三个肉球围绕着我们且越来越近。当肉球抓住我们并将我们扔进高维空间，我们只能看到高等宇宙的三维横截面。我们会看到出现物体、颜色改变、尺寸增大和缩小，然后突然消失。尽管我们能理解这些变化的物体实际上就是高维物体的一部分，但我们不能完全想象这个物体在高维空间的生活全貌。



时空的曲率

什么是空间扭曲？

空间扭曲是由于物质和能量的存在造成的时空结构的扭曲。正如我们在第2章看到的，爱因斯坦将时空扭曲解释为重力的起源。想象空间扭曲的效果，回想哥伦布时代，大多数人认为世界是平的。对环顾四周的人来说，世界肯定是平的——因为他们的观察半径与地球半径相比，实在太小。

同样，今天，我们假设周围的宇宙是平的，或许只是因为我们可见宇宙与实际宇宙相比，实在太小。

想象下面这个例子：一只虫子在球体的表面爬行，它会认为球体是

平的，这与哥伦布同时代的人认为世界是平的完全一样。然而，事实上，这只虫子能绕球面旅行一周后回到原来的起点。这样，我们看到一个球体在二维是无限的和无边的，但在三维是有限的。

我们的宇宙处在这个自大爆炸以来一直扩张的超空间的表层。就像被吹大的气球上的斑点，星系不断地彼此远离。（显然，问大爆炸发生在哪儿是徒劳的——气球最初的膨胀显然不会发生在气球表面的任何地方。类似地，大爆炸的发生也不会是四维时空的任何地方。我们需要五个维度以解释大爆炸发生在何处。）

例如，在几何学中，我们知道，三角形内角和为180度。事实上，这仅适用于平面几何。如果三角形位于球体的表面，内角和大于180度（我们说球体有正曲率）；如果三角形位于马鞍的内表面，内角和小于180度（我们说这些表面有负曲率）。



非欧几里得几何

数学家们过去曾试图判断我们的宇宙是否为弯曲的。例如，19世纪，德国数学家卡尔·弗里德里希·高斯（Carl Friedrich Gauss）让他的助手站在三座山的山顶，形成三角形的三个顶点。高斯试图测量确定这个巨大三角形形成的内角和以判断我们的宇宙是平坦的或者弯曲的。不幸的是，他发现内角和是180度，所以，宇宙是平坦的，或者它的曲率太小而无法观察。

弯曲空间的数学有着奇特的历史。大约在公元前300年，伟大的希腊几何学家欧几里得首先系统地写下了几何定律，从一系列的基本假设开始。几个世纪以来，其中最有争议的是他的“第五个假设”——简单地说，如果有一个点和一条线，通过这个点我们只能画出一条线与原直线平行。

这种听起来天真且常识性的说法激起了之后2000年数学家们的兴趣，他们认为或许能从前四个假设推出第五个假设。几个世纪以来，不时地有有进取心的年轻数学家宣布，他们已证明了第五个假设，但人们总能在他们的证明中发现错误。数学家们尽其所能地尝试，仍未能推导出第五个假设。事实上，他们开始怀疑，或许没有证据。

1829年，俄罗斯数学家尼古拉·伊凡诺维奇·罗巴切夫斯基（Nicolai Ivanovitch Lobachevsky）解决了这个难题。他认为，不可能证明欧几

里得的第五公设，并构建了自己的新的几何。在这个新的几何里，第五公设是错误的，这标志着非欧几里得几何的诞生。

不幸的是，罗巴切夫斯基很难让他的工作广为人知，因为他非常穷——不像某些其他数学家，他不是贵族或皇家宫廷的最爱。事实上，他从未享受过任何社会地位。他经常支持不受欢迎的自由主义观点，在沙皇统治时期这非常有风险。他的孤立越来越严重，因为在事实上，多数数学家对欧几里得可能是错的或不完整的观点持敌视态度。事实上，高斯本人在几年前也独立地得出了与罗巴切夫斯基相同的结论，但因顾及可能会产生的政治上的强烈反对而未发表。

1854年，德国数学家波恩哈德·黎曼（Bernhard　Riemann）展示了将这些理论拓展至更高维度以阐明这种新的几何学。他提出，所有的非欧几何形状都能用曲率表示。

像罗巴切夫斯基一样，黎曼也非朝臣的宠儿。他创造了本世纪最强大的数学，同时，他生活在贫困中。更糟糕的是，他家的几个成员完全依赖于他而生活。1859年，他的运气来了，他在哥廷根获得了教授职位。然而，因常年对健康的忽视，他于1866年死于肺结核，死时39岁。

今天，黎曼几何是广义相对论的数学基础。事实上，爱因斯坦借用了这位数学家的大部分理论。不幸的是，黎曼并未活着看到自己的理论有一天会成为理解宇宙的基本框架。



最远的星星在哪儿？

为了便于讨论，假设我们生活在一个相对较小的超球面。我们要问的是——宇宙中最远的点在哪儿？古代哲学家也提过这个问题，想知道最远的物体之外是什么。如果宇宙是一个足够小的超球体，我们的望远镜能接收完全围绕它传播的光，我们会吃惊地发现——宇宙中最远的物体是我们的后脑勺。

想象一只虫子生活在气球表面的情况。为了便于讨论，假设光只能沿气球表面的圆形路径传播。如果虫子窥视望远镜，虫子发出的光可以绕气球一圈直至回到虫子的望远镜。如果虫子窥视宇宙中最远的物体，最终会看到它自己在凝视着望远镜。

同样，如果我们生活在一个小的超球体里，光可以绕我们的宇宙转

圈。然后，通过我们最强大的望远镜，我们能看到的宇宙中最远的物体将是某人（我们自己）凝视望远镜的图像。最远的恒星将是太阳，我们自己的太阳。

当然，光可以围绕这个小超球体循环任意次数。这意味着，如果我们从稍微不同的角度凝视望远镜，会看到我们自己的影像看着另一个也是我们的复制品的人在他面前。如果我们稍微改变视角，我们会看到无限个人，每个人都用望远镜盯着他面前的人。当然，我们的眼睛看到了无限序列的人，因为我们的眼睛只能感知三维物体。事实上，我们的眼睛接收到了多次环绕宇宙的光。



黑洞

尽管所有这些看起来都具有高度推测性，但在1994年，科学家使用哈勃太空望远镜证实了M87星系有一个黑洞。未来几年，我们的太空探测器将能窥视外太空并发现更多黑洞，它们是经历重力收缩的大质量恒星的残余。

如果我们重新审视爱因斯坦给我们的照片，我们会发现黑洞由一个在时空结构中的长长的喇叭状凹陷代表。后来，爱因斯坦注意到这不完全正确。事实证明，只有一个这样的小号状凹陷，就会出现矛盾的结果。遗憾的是，为了给出黑洞的自洽图像，爱因斯坦被迫用了两个这样的喇叭状凹陷。

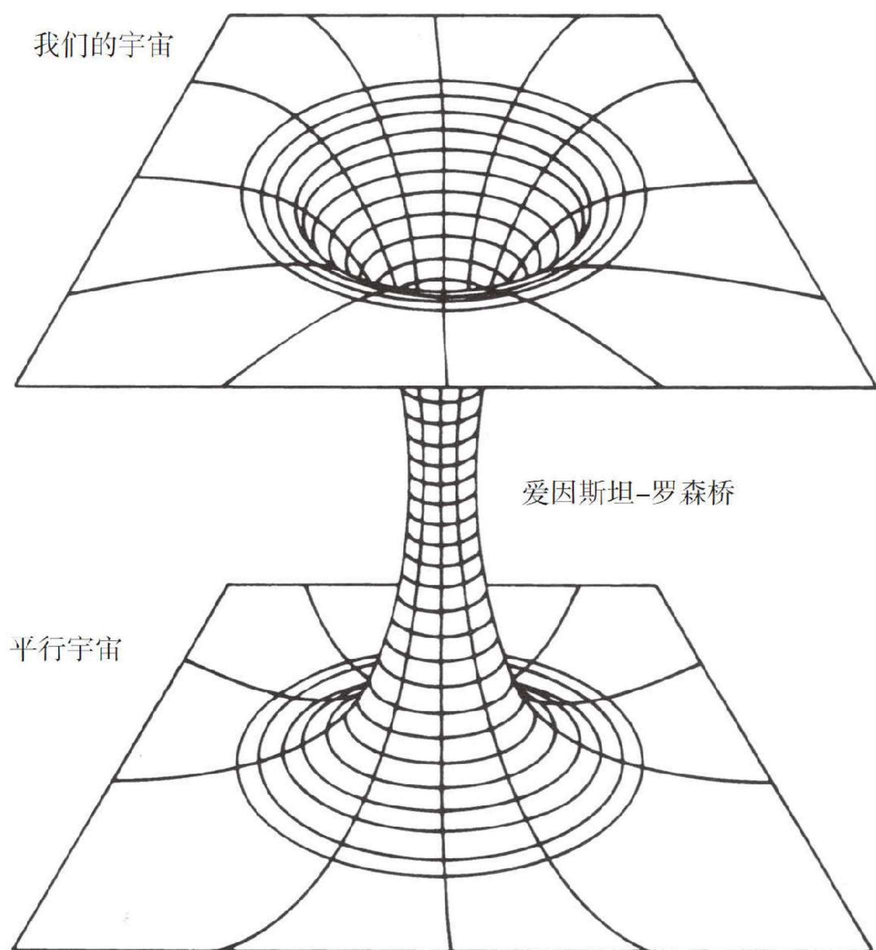
注意，黑洞似乎是两个完全不同的宇宙之间的“通道”。当然，重力非常大，以致任何掉进黑洞的人都会被压死。因此，对爱因斯坦来说，这些通向另一个平行宇宙的通道只是数学上的好奇。无论从哪方面看，在“桥”（也称爱因斯坦-罗森桥）的中心，重力将变得异常强大，“桥”两端的两宇宙之间无任何通信的可能。在“桥”的中心，任何人的任何原子和原子核都将被重力撕裂。

1963年，物理学家罗伊·P.克尔（Roy P.Kerr）发现了一种自旋黑洞，不是收缩至某一点，而是像一个薄饼那样变成无限薄的圆环。因为角动量守恒，我们预计，大多数黑洞都旋转得很快。克尔的度量，似乎是更合适的黑洞模型。

然而，克尔的衡量标准是奇特的，因为如果一个人与其轴线成直角直接落入圆环中，重力不是无限的。这一事实提出了一种不寻常的可能

性，即在未来，太空探测器可能会被直接送入旋转黑洞，最终进入另一个平行的宇宙。事实上，这种抛射体从一个宇宙到另一个宇宙运动的精确路径可以被绘制。

如果我们从侧面（非直角）靠近这个黑洞，我们会被压碎。如果我们从环的顶部接近环，重力场会是巨大的，但不会是无限的。



黑洞可以被视为通向平行宇宙的大门。“潜在问题”是，爱因斯坦-罗森桥中点的重力使两个宇宙之间的交流不可能。

斯蒂芬·霍金（Stephen Hawking）和他的同事罗杰·彭罗斯（Roger Penrose）研究过这些奇怪的克尔黑洞的影响。他们发现，爱因斯坦-罗森桥的颈部可能会弯曲过来，在宇宙的某个其他的地方出现，这增加了宇宙不同部分之间的一维桥梁的可能性。

这座桥会是什么样子？想象一下，为了讨论方便，我们发现了克尔旋转黑洞。如果我们与环成直角发送火箭穿过黑洞，它们是否会出现在黑洞的另一边。事实上，他们应该会出现在宇宙的另一边。从这个意义

上说，这座桥可以作为通向太空另一面的方便的空间通道。

尽管这种可能性对科幻作家来说很迷人，但尚不清楚的是，这些桥是否确实存在。事实上，仅找到爱因斯坦方程的解远远不够，我们必须计算这些虫洞的量子修正。

传统上，在广义相对论中，量子修正是不可能计算的。所以，量子效应是否会关闭这座桥一直是人们推测的问题。然而，借助超弦理论，计算出量子爱因斯坦-罗森桥会发生什么以及确定量子效应是否密封它，只是时间问题。

一些物理学家指出，超弦理论所做的量子修正或许会封住入口，让这种进入另一宇宙的旅程成为不可能。然而，如果超弦校正未密封此维度桥，旅程将成为可能——将火箭直接送入旋转黑洞并让它们重新出现在宇宙的另一边。

尽管桥的问题已足够奇怪，但相对论效应更奇怪。随着超弦的到来，我们或许能解决时间的奇异扭曲是否可能的问题。

13　回到未来

在刘易斯·卡罗尔的《爱丽丝镜中奇遇》中，爱丽丝穿过镜子进入了另一个宇宙。在另一个宇宙中，一切似乎都很熟悉，除了有一些扭曲。在仙境中（另一个宇宙），逻辑和常识颠倒了。

卡罗尔的真名是查尔斯·勒特威奇·道奇森（Charles Lutwidge Dodgson）。他是数学家，在牛津任教并在数学逻辑领域做出了贡献。（维多利亚女王被他写给孩子们的书迷住了，女王坚持要他赠送自己的下一本新书。他欣然照办，将自己的关于抽象数学的新书寄给了女王。）

他最初写“爱丽丝梦游仙境”系列是为了用扭曲的逻辑逗孩子们开心。实际上，卡罗尔告诉了孩子们，有着与我们完全不同规则的其他世界有存在的可能性。

然而，从现代物理学的角度来看，可以这样描述该问题——关于和我们相似的平行宇宙的可能性，在科学上的看法？反物质宇宙，镜子宇宙？时间颠倒的宇宙？令人惊讶的是，GUT理论和超弦理论讲述了许多关于这些不同类型宇宙的可能性。

首位打开另一宇宙大门的科学家是保罗·狄拉克（Paul Dirac），量子力学的创始人之一，他偶然地发现了反物质理论。



反物质

狄拉克出生于1902年，比海森堡晚一年。他18岁从英国布里斯托尔大学毕业，电气工程师，找不到工作。他被剑桥大学录取，但因为缺钱放弃了。此后，他和父母住在一起，在1923年获得了应用数学学士学位。

1925年，他听说了海森堡令人兴奋的工作，另一位20出头的物理学家创立了一种新的物质和辐射的理论——量子力学。很快，令人惊讶地，他奋勇向前，在量子力学领域做出了惊人的原始性的贡献，狄拉克之前几乎未接触过物理。

1928年，26岁的狄拉克被困扰于薛定谔方程是非相对论性的，仅适

用于远低于光速的速度。狄拉克还注意到，爱因斯坦的著名方程$E = mc^2$实际上不完全正确。（爱因斯坦曾意识到，正确的版本是$E = \pm mc^2$。但他不关心减号，因为他创造了一种力的理论。）与爱因斯坦不同的是，狄拉克当时正欲创造一个电子的新型方程（现称狄拉克方程），不能忽视物质具有负能量的可能性。负号令人费解，因为它似乎预示着一个全新的物质形式。

狄拉克发现，具有负能量的物质似乎与普通物质相似，但电荷相反。例如，反电子带正电，原则上它能围绕一个带负电荷的反质子旋转，创造一个反原子。此外，反原子可以结合起来创造反分子，甚至反行星、反恒星。

在狄拉克的原始论文中，他非常保守——他推测，也许，质子是电子的对应物。然而，他留下了一种明显的可能性——存在一种新的根据他的方程式预测的物质形式。

狄拉克首先预言了反物质的存在，后来反电子（被称为正电子）的发现为此作了证明——反电子由加州工学院的卡尔·安德森（Carl Anderson）发现。安德森分析了宇宙射线轨迹后，注意到在一张照片中一个电子在磁场中走错了路。毫无疑问，它是一个带正电荷的电子。

由于他的工作，狄拉克在1933年31岁时获得了诺贝尔奖，并获剑桥卢卡逊教授职位，艾萨克·牛顿几百年来一直占据着同样的位置。安德森此后不久获得了诺贝尔奖，那是在1936年。

海森堡对狄拉克的结果印象深刻，他说，“我认为，在基本粒子性质方面的最决定性的发现是狄拉克发现了反物质。”

当物质和反物质碰撞时，它们会互相中和释放出巨大的能量。检查一大块反物质，即便不考虑其可能性，也是非常困难的，因为它与普通物质接触会产生比氢弹还严重的核爆炸。

物质和反物质转化为能量比氢弹释放能量的效率还高。在核子爆炸时，物质转化为能量的效率只有1%。反物质炸弹如果被制造出来，爆炸的效率可达100%。（事实上，利用反物质制造核弹是不实际的——虽然反物质炸弹在理论上可能，但它们非常昂贵。）

今天，人们正进行详细的反物质实验。在世界各地的几个原子对撞机上，物理学家产生了纯反电子束，然后欲使其与电子束碰撞。（因为电子束不强，物质和反物质的突然碰撞虽然释放能量，但不会引起爆炸。）未来，物质和反物质的湮灭可能会作为太空旅行的能量燃料（但前提是我们能在宇宙中找到大块反物质）。

一些人在科幻小说中读到过反物质，得知反物质理论已有60年历史后感到非常惊讶。也许，反物质存在却不广为人知的一个原因是——狄拉克是个低调的人，从不夸耀自己的成就。事实上，他沉默寡言的方式

非常著名，以致剑桥大学的学生说，“‘狄拉克’讲话滔滔不绝，每年只说一个单词。”

时光倒流

20世纪40年代初，费曼还在普林斯顿大学读研究生时，他引入了另一种对反物质性质的解释。在量子电动力学中，费曼注意到，反物质在时间上向前推进与普通物质时光倒流没有区别。

这一发现允许了对反物质的一种全新的（同等的）解释。例如，我们推动一个有电场的电子向左移动，如果这个电子时光倒流，它会向右移动。然而，电子向右移动，对我们来说就像电子带正电而非负电。因此，一个电子时光倒流与反物质在时间上前进并无区别。换句话说，卡尔·安德森（Carl　Anderson）在他的宇宙射线实验拍摄的好像带正电荷的电子，实际上在时间上是在倒退。

粒子在时间上向后移动给出了费曼图的一种新的解释。假设我们用一个电子和一个反电子碰撞，释放出一股能量。如果我们逆转反电子上的箭头，让它在时间上回到过去，我们将能重新解释这个图表。在新的解释中，一个电子在时间上向前推移，释放出能量光子，相同的电子时光倒流。

费曼事实上证明了量子电动力学的所有方程是一样的，无论是描述反物质在时间上前进或者是普通物质时光倒流。这种奇怪的状态使普林斯顿大学的约翰·惠勒（John Wheeler）提出的古怪理论成为可能——整个宇宙只由一个电子构成。

有一天，费曼还是普林斯顿的学生时，他的导师惠勒兴奋地声称，他终于知道了为什么宇宙中所有的电子看起来都很像。（每个学化学的学生都知道，所有电子是一样的——没有胖电子、绿色电子、长电子。）

想象以下创世的行动。假设从大爆炸的混乱和火焰中只带来了一个电子。这个电子在时间上向前推进数十亿年，直至它到达了另一个灾难性事件——时间的终结或世界末日。

这种令人震惊的经历反过来逆转了电子的方向，让时光倒流。当同样的电子回到大爆炸时，它的方向再次颠倒。这个电子并未分裂为许多

电子，正是同一个电子在大爆炸和世界末日之间像乒乓球一样来回曲折。

现在，坐在宇宙大爆炸和世界末日之间的20世纪的任何人都能注意到大量的电子和反电子。事实上，我们可以假设电子来回往返了足够多的次数，以产生了宇宙中的电子总数。（当然，一个物体在空间往返多次，不能产生一个以上的自身的副本。然而，一个在时间上来回移动的物体却可以有自身的副本。例如，电影《回到未来》的结尾——“当英雄及时回到现在，看到自己曾离开的时间机器时，场景中出现了这个英雄的两个影像。”原则上，这种在时间上往返的效果可以重复任意次数，产生无限数量的副本。）

如果这个理论为真，它意味着我们体内的电子是同一个电子。唯一的区别是，我的电子或许比你的电子早几十亿年。如果这个理论为真，还有助于解释化学的基本原理——所有的电子都是一样的。这一理论的现代版本是——单弦宇宙。

惠勒的单电子宇宙能解释宇宙中所有物质的存在吗？物质能时光倒流变成反物质吗？这些问题的答案是“是的”，但没有实验能验证。根据量子电动力学的说法，物质时光倒流和反物质在时间上向前推进无法区分。因此，没有可用的信息可以在时间上向回发送，这就消除了时间旅行的可能。如果我们看到反物质漂浮在外层空间，或许是从未来向我们靠近，但我们不能用它向过去发送信号。



镜像宇宙

爱丽丝透过镜子看到了一个镜像颠倒的宇宙。在那个世界——大多数人都是左撇子，人们的心在他们身体的右侧，时针沿逆时针方向移动。

尽管这个世界或许看起来很奇怪，但物理学家早就认定，这样一个镜像颠倒的宇宙在物理上具有可能性。例如，我们将牛顿、麦克斯韦、爱因斯坦和薛定谔方程颠倒过来，它们仍然保持不变。如果我们的方程式不分左右，那么，两个宇宙在物理上应该具有可能性。这一原则被称为“奇偶守恒”，能通过费曼的一个简单例子说明。

假设我们刚与另一个星球的人建立了无线电联系。我们看不见他们，但却破译了他们的语言，能通过无线电和他们交谈。我们为这个地

外联系感到兴奋，向他们努力解释我们的世界。

我们问，“你看起来像什么？我们有一个头，两只胳膊和两条腿。”他们回答，“我们有两条触角和两个头。”他们明白我们所说的一切。

一切进展顺利，直到我们说，“……我们的心脏在身体的左侧，而不是右侧。”

他们回答，“我们很困惑。我们理解心脏，因为我们每人都有三个，但‘右’是什么意思？”

我们对自己说，这很简单。我们回答，“‘右’，就是在右手边。”

他们迷惑不解地回答，“我们理解手的概念，因为我们有两条触角，但哪条是右触角？”

我们想了一下，回答，“如果你顺时针转动身体，你的身体将向右移动。”

外星人回答，“我们理解旋转的意义，但‘顺时针’是什么意思？”

沮丧之余，我们说，“你知道上下的意思吗？”

他们回答，“知道，向上意味着远离我们星球的中心，向下意味着朝向中心。”

我们补充，“当钟的指针指向上方，它们会顺时针向右移动。”

他们困惑地回答，“我们明白了，我们明白了时钟，但仍然不理解‘右’或‘顺时针’。”

恼怒之下，我们做了最后一次尝试：“如果你坐在北极，你的行星在你脚下顺时针移动，那么，你的行星将向右旋转。”

他们回答，“我们理解极点的概念，但你们是如何区分北极和南极的？”

我们放弃了。

这个故事是为了说明一个事件——物理学家曾认为单靠无线电不能区分“左”和“右”。宇称守恒，这是物理学中一个珍贵的观念，左手世界或右手世界都是一个合理的宇宙，不违反任何已知的原则。

1956年，两位年轻的物理学家否定了这种物理学观点。一位是普林斯顿高级研究所的年轻物理学家“弗兰克”杨，另一位是现在在哥伦比亚的年轻物理学家李正道，他们证明了这种均等在弱相互作用中不可行。

哥伦比亚大学的吴世雄教授也通过实验证实了该问题，发射电子而衰变的钴-60原子主要以优选的方向旋转。

当实验结果被公布时，物理学家们震惊了。泡利一听到这个消息就说，“上帝一定犯了一个错误！”

物理学世界被杨和李的理论严重动摇了，该理论证明了根本不可能区分左手宇宙和右手宇宙。尽管他们的理论很奇怪，但实验结果是决定性的，他们还因此获得了1957年的诺贝尔奖。

现在，有了李和杨的历史性成果，我们可以回到收音机上，告诉外星人，“我知道了，取一大块钴-60放在磁场中，它发射的电子会飞向北极。一旦你知道了北方的含义，你将能容易地分辨顺时针和向右的意思。”

外星人回答，“我们知道钴-60是什么。我们知道它的原子核中有60个质子，我们可以进行这个实验。”

随着李和杨的开创性工作，似乎终于能传达左右的概念了。

假设，我们最终建造了足够大的火箭以搭载我们去外星。我们事先作好了约定，在相遇的那个历史性时刻，我们用自己的右手和右触角握手。

当这天到来时，我们相遇并伸出了右手。突然，我们注意到外星人伸出了他们的左触角。刹那间，我们意识到一个错误，外星人实际上是由反物质制成的。一直以来，我们都在与反物质制成的外星人交谈，他们是使用的反钴-60（钴-60的反物质）做的实验，并测量了向南运动的反电子自旋，而非向北。这时，我们突然有了一个可怕的想法——如果我们握住外星人的左触角，我们会在物质与反物质碰撞时爆炸而灰飞烟灭！



CP违例

直到20世纪60年代，人们一直认为，虽然宇称守恒被推翻了，但或许仍有一些希望。由反物质组成的宇宙和左右手颠倒仍具有可能性，人们相信宇宙的方程式可以CP反转（C代表“电荷共轭”，将物质转变为反物质，P代表“奇偶性反转”，左和右互换）。

因此，如果我们不能事先知道外星人是由物质还是反物质组成的，仍不能通过无线电向外星人传达左和右的概念，对称似乎被还原到宇宙中。

1964年，布鲁克海文国家实验室的瓦尔·惠誉（Val L.Fitch）和詹姆斯·W.克罗宁（James W.Cronin）提出，甚至在研究某些介子的衰变时，CP被违背了。这意味着，如果我们颠倒物质和反物质以及左和右，宇宙的方程式会不一样（发生改变）。

起初，CP违例的消息令人失望，它意味着宇宙不如人们以前期望的对称。尽管这并未否定任何特别重要的理论，但这意味着大自然创造了一个比物理学家怀疑的更加困惑的宇宙。今天，GUT理论为我们做出了解释，CP违例在实际上也许是件好事。

宇宙起源的理论一直存在一个疑问，为什么我们在宇宙中看不到等量的物质和反物质。虽然天空中的物质和反物质难以区分，但天文学家认为，可见宇宙中的反物质可以忽略不计。

物质和反物质之间不平衡的原因是什么？为什么主宰宇宙的是物质，而不是反物质？

几十年来，有人提出了一个完全基于推测的机制——也许宇宙中的物质和反物质可以被某种看不见的力隔开。

然而，最简单的理论来自统一场论。在GUT和超弦理论中，CP是违背的。在时间开始之初，由于CP违背的结果，物质和反物质出现了轻微的不平衡，物质略多于反物质（大约多十亿分之一）。宇宙中的物质和反物质在大爆炸时彼此抵消，产生辐射，但多出来的十亿分之一的物质被留了下来。这种过剩物质构成了我们的物理宇宙。

换句话说，我们体内的物质就像化石，是物质和反物质在大爆炸的最初湮灭中遗留下来的产物。物质存在的根本原因是因为统一场论纳入了CP违例。没有CP违例，就没有宇宙。



时间旅行？

迄今为止，我们只讨论了看似良好的宇宙，与实验数据一致。实验室，我们一次又一次地测量了P违例和CP违例，并用来解释早期宇宙的

某些特征。

事实上，广义相对论也允许一些很难解释的宇宙存在。其中，有些宇宙似乎允许时间旅行。

在爱因斯坦活着的时候，他的方程的每一个解在解释或预测宇宙学方面都取得了辉煌成功。例如，史瓦西解给了我们黑洞的当前描述；诺德斯特龙-莱斯纳解给了我们带电黑洞的描述；罗伯逊-沃克解给了我们大爆炸的描述。

然而，这个理论的一个解提出了一个关于时间本质的基本问题。例如，1949年普林斯顿大学数学家库尔特·哥德尔（Kurt Godel）发现了一个奇怪的爱因斯坦解，它“不受因果律支配”。（对物理学家来说，一个不受因果律支配的宇宙仿佛一个在时间上无限循环的宇宙重复地以电影的形式在自己眼前播放。）

爱因斯坦本人承认了哥德尔理论的令人不安的含义。1949年2月，爱因斯坦写道，“哥德尔的工作令人困惑，他提出了我无法完全回答的问题。”他继续写道，“哥德尔的解决方案在我看来，构成了一个对广义相对论的重要贡献，尤其是他对时间概念的分析。这个问题在我建立广义相对论时就一直困扰着我，我一直未能成功地澄清它。”

20世纪60年代中期，匹兹堡大学物理学家E.T.纽曼（E.T. Newman）、T.W.J.昂蒂（T.W.J.Unti）和L.A.坦博里尼（L.A. Tamborini）发现了另一组爱因斯坦方程的奇异解。他们的解非常奇怪，被命名为NUT解，以三人名字的首字母拼写。

NUT解不仅允许这种奇怪的时间旅行形式，还允许其他的奇怪的时空扭曲。例如，绕着桌子走360度，我们回到了出发地。现在，想象一下沿螺旋楼梯走360度的结果，我们并未回到最初的起点。

这些NUT解允许更高维度里的阶梯型解。例如，如果我们围绕一颗恒星做360度的旅行，我们不会回到最初的起点，而是达到了不同的时-空层面上。

尽管爱因斯坦的方程允许时间的奇怪的扭曲，我们并不用担心有一天地球会落入一个NUT解，并从宇宙的另一边出来。如同《回到未来》中描述的那样回到过去，或许是你的母亲在你出生之前爱上了你，并不具有可能性。NUT宇宙如果存在，它将超出我们可见宇宙的范围。与它们沟通是不可能的，因为它们超出了光线的范围。因此，我们不必将爱因斯坦方程的这些解当回事儿。



扭曲时间的量子修正

20世纪60年代，人们或许能将哥德尔和NUT宇宙排除在外，选择忽略。

然而，随着量子理论的出现，一切都变得困惑了。根据海森堡测不准原理，通过量子跃迁进入这些奇异的宇宙一定具有可能性，即便这些可能性无限小。因此，量子力学重新生成了许多的奇怪解。

事实上，随着超弦理论的发展，猜测和困惑被逐一消除。原则上，现在所有的量子效应都能进行计算。我们能一劳永逸地回答量子力学如何肯定或排除爱因斯坦方程的疯狂解——容许有桥的解，落入其他宇宙的解，以及时间旅行可能的宇宙解。

超弦产生的兴奋仍然持续着，尚未有人计算出这些量子修正。若干年后，人们或能有趣地看到这些量子修正有多大。



从无到有？

多年来，物理学家一直对这种可能性感兴趣——宇宙来自于从无到有的量子跃迁（没有物质或能量的纯空间-时间）。

从纯粹的时-空创造万物的想法非常古老，可追溯到第二次世界大战时期。物理学家乔治·伽莫夫在自传《我的世界线》中讲述了自己首次向爱因斯坦提交这个理论的情况。一次，伽莫夫和爱因斯坦一起在普林斯顿街上散步。伽莫夫提到了量子物理学家派斯卡·乔丹（Pascual Jordan）的思想，“一颗恒星，由于有质量，故而具有能量。然而，如果我们计算锁定于重力场内的能量时，会发现它是负值。该系统的总能量或许是零。”

乔丹认为，由于恒星能量为零，所以在它凭空产生时并未违背能量

守恒。当伽莫夫向爱因斯坦提到这种可能性时，伽莫夫回忆，“爱因斯坦停下了脚步，因为我们正过着马路，几辆车不得不停下来以避免撞到我们。”

1973年，纽约亨特学院的埃德·特里恩（Ed Tryon）提出了独立于这些早期的有关星星的理论——也许，整个宇宙是从纯空间-时间创造出来的。再次，凭经验，似乎宇宙的总能量应该接近于零。特里恩认为，宇宙或许是被“真空波动”创造的，一种随机的从真空到完全成熟宇宙的量子跃迁。

开创膨胀理论的物理学家也将从虚无中创造宇宙这一观点视为一种严肃的概念看待。不过，“从无到万物”的理论与超弦理论有什么关系呢？

正如我们之前看到的，超弦理论预测，我们的宇宙起源于一个十维宇宙，它不稳定并猛烈收缩至四维空间，这个灾难性的事件创造了最初的大爆炸。然而，如果“从无到万物”的理论被证明是正确的，它意味着最初的十维宇宙或许是从零能量开始的。

目前，超弦理论家无法在数学上计算十维宇宙断裂为四维的精确机制。涉及的数学超出了大多数物理学家的能力，因为该问题涉及了复杂的量子力学效应。事实上，这个问题在数学上有明确的定义，因此，求解它只是时间问题。未来，当十维宇宙分裂为四维空间的动力学被理解，最初的十维宇宙储存的能量将能得到计算。如果我们通过计算得出十维宇宙的能量最初为零，将成为“从无到万物”理论的有力支持。



超弦和时空

时光旅行……NUT理论……从无到万物，它们都是广义相对论的外围边缘。

会出现一个不受因果关系支配的宇宙吗？黑洞是通向另一个宇宙的大门吗？超弦理论令人兴奋，因为它可以使我们计算出爱因斯坦理论的量子修正并一劳永逸地回答这些问题。

这些答案还未出来。在未来的几年，超弦研究还有许多事情要做。也许，本书的一些年轻读者会受到探索宇宙方程的启发，成为解决这些问题的人。

14　超越爱因斯坦

最远的星星之外有什么？宇宙是怎样创建的？时间开始之前发生了什么？自人类第一次仰望天空且惊叹于无数星星的光辉至今，我们一直对这些永恒的问题感到困惑。

超弦理论令我们兴奋的核心是，我们或许终于能接近这些问题的答案了。想象我们或许要进入的那个新的时代，在那里，我们能拿出详细的数字回答几千年前希腊人提出的问题，实在令人激动。

如果超弦理论成功了，我们或许会见证历史上一些最伟大思想家做出的贡献。如果物理学家能证明超弦理论是一种可解释重力的量子理论，它将成为宇宙统一理论的唯一候选。它将完成爱因斯坦在20世纪30年代开始的将引力与其他已知力统一起来的宇宙探索。

当然，这给物理学界带来了极大的兴奋。统一一度被认为是个美丽但不切实际的想法，但在过去20年已发展为理论物理的主导主题。我们可能正在见证过去300年从牛顿开始的物理学的高潮。正如格拉肖所说，“物理学的孤立丝线现在被编织在一起产生了一幅美丽且优雅的挂毯。”

正如施瓦茨指出的：

> 基本粒子物理不同于所有其他分支科学——我们试图问的问题非常具体，如能完全成功地回答这些问题，你将拥有确定的答案。在科学的其他分支中，甚至没有一个学科有理论完成的可能性——化学和生物学没有确定的答案，甚至物理学的其他分支（如凝聚态物质物理学、原子物理学、等离子物理学）也没有确定的答案。在基本粒子理论中，寻找基本粒子规律——如我们追求的美真实存在，那么，一定有一个简洁而美丽的答案包含了整个故事。

这段话的含意令人震惊。例如，历史学家认为，发现一份罕见的几百年前的变黄的手稿是一个重大发现。这样的手稿给了我们与过去的无价联系，让我们一瞥以前的人们如何生活和思考。

考古学家认为，在几千年前的古代城市遗址中出土的文物是无价宝。这些人工制品能告诉我们（甚至在有文字记录之前）祖先如何建造城市，怎样进行商业和战争。地质学家对数亿年前在地壳深处产生的宝石的美丽而惊叹。岩石为我们提供了早期地球的宝贵线索并帮助我们解释形成大陆的火山力量。

天文学家用强大的望远镜探测天空，他们对接收到的光是几十亿年前由恒星发出的这一事实感到敬畏。古老的光帮助天文学家了解星星年

轻时宇宙的模样。

对物理学家来说，超弦理论允许我们研究远在有文字记录、地质记录，甚至天文记录很久之前的时间周期。令人难以置信的是，超弦理论将带领我们回到时间的起点，回到世界上的所有力完全对称且统一的原始的超力。超弦理论可以为对我们至关重要的人类未曾经历过的现象提供答案。



对称与美丽

令人惊讶的是，我们发现，宇宙比我们期望的更简单。从某种意义上看，我们回到原处，在牛顿之前那个时代的科学家就认为，宇宙是完美有序的和结构化的。然而，到了19世纪，混乱导致了相对论和量子力学的诞生，物理学似乎困惑和混乱了。现在，我们似乎又回到了最初的想法——一个有序的宇宙——尽管是在更高的更复杂的层面上。

超弦理论表明，对称性在物理学中起着举足轻重的作用。一方面，我们意识到，仅依靠对称性本身并不足以推导出物理定律。另一方面，一些科学家认为，在物理证据的基础上，美丽是理论物理非常准确的指南。

如施瓦茨的评论：

> 历史上，当你在基础层面探索时，美丽在理论物理方面会起到很好的作用。当你进入深层次的基础物理学时，因为几乎没人明白，所以你的计划越优雅简单似乎越能成功。回到牛顿时代，过去两三百年的物理学的全历史非常清楚地证明了这点。

我们发现，自然界建造宇宙的机制比我们最初认为的或许更先进和简单。在处理从原子粉碎机里喷涌而出的杂乱不堪的数据时，尽管数学已飙升到了令人眼花缭乱的高度，但物理学的图像指导数学却比任何人的期望都简单。

此外，大自然似乎比以前更连贯了。以前，一个外行人为了对现代流行的观念有所了解，必须先阅读关于黑洞、激光、夸克、量子力学、电磁学等各方面的相关知识。对任何初学者来说，信息量的爆炸非常令人困惑。更糟糕的是，物理专业的学生通常需要消化至少20卷书籍才能

了解自己研究领域的当前趋势。然而，现在的情况是，一本书就能将多卷书籍的基本思想浓缩为一个全面的连贯的方法以介绍物理全领域（这些术语能被可视化）。事实上，这正是本书的主题。

也许，过去几十年物理学最大的教训是，自然界不只是将对称性作为建立物理结构的便利工具，而是认识到自然界对对称性的绝对需要。当人们试图将量子力学和相对论结合时，出现了太多陷阱——巨大的雷区，如异常、分歧、快子（粒子速度快于光）、幽灵（概率为负的粒子），需要数量巨大的对称将它们消除。

简言之，超弦模型之所以“有效”，是因为它具有物理模型中从未发现的最大对称性。当我们基于弦而不是点写一个理论时，自然出现的大量的对称性足以消除这些异常和差异。

在某种意义上，超弦理论为狄拉克反对重整化理论提供了一个理由。他不可能接受费曼和其他人发明的所有技巧，将无穷大塞进他们的袖子。狄拉克发现重整化理论是如此地矫揉造作，以至于他拒绝相信它能成为自然的基本原则。费曼这位恶作剧者和业余魔术师能用羊毛遮住整代物理学家的眼睛吗？

超弦理论为狄拉克的反对提供了答案，因为它不需要重整化。物理学家相信，介于该理论中固有的大量的对称性，费曼的环图是有限的。

可以建造许多可能与相对论相容的宇宙，可以想象出许多服从量子力学定律的宇宙。将这两者结合起来产生了非常多的分歧、异常，也许只有一种解为真。一些物理学家愿以身家担保，最终解为超弦。



像一部神秘小说

统一场论从最初到今天超弦理论的曲折发展在某些方面类似于一部神秘小说。

像推理小说那样，故事分阶段进行。第一阶段，主要人物介绍。这对应于牛顿、麦克斯韦、普朗克和海森堡时代，自然力的基本性质被确定和阐明。然而，物理学在这一时期花费了太长时间，持续了几百年，因为研究的方向不明确。与谋杀之谜相比，犯罪的定义是明确的。在物理学中，只有爱因斯坦在20世纪30年代对物理学应走的方向有清晰的认识，他在完全孤立中工作。此外，他缺少一个主要角色——核力量的关

键信息。

第二阶段，将不同个体联系起来的模式出现了，给了我们罪犯身份的第一条线索。在物理学中，这相应于在20世纪50—60年代取得的令人困惑但稳步的进步，物理学家在强相互作用中认识了SU（3）并在弱相互作用中认识了SU（2）。李群被认为是解释各种力的适当的形式，但科学家对它们的起源和目的并不明确。夸克模型被提了出来，但人们对它并不完全了解且不知道是什么将夸克聚集在一起。

第三阶段，提出了相关的明确理论将某个人与犯罪联系起来。在物理学中，这相应于20世纪70年代，这时规范对称被清楚地认为是强力、弱力、电磁力统一的框架。然而，这也是错误的开始。S矩阵理论是作为另一种量子场论被提出，但它最终帮助产生了弦理论。然而，弦理论的意义在当时不能完全理解。在此期间，它遭到了否定。

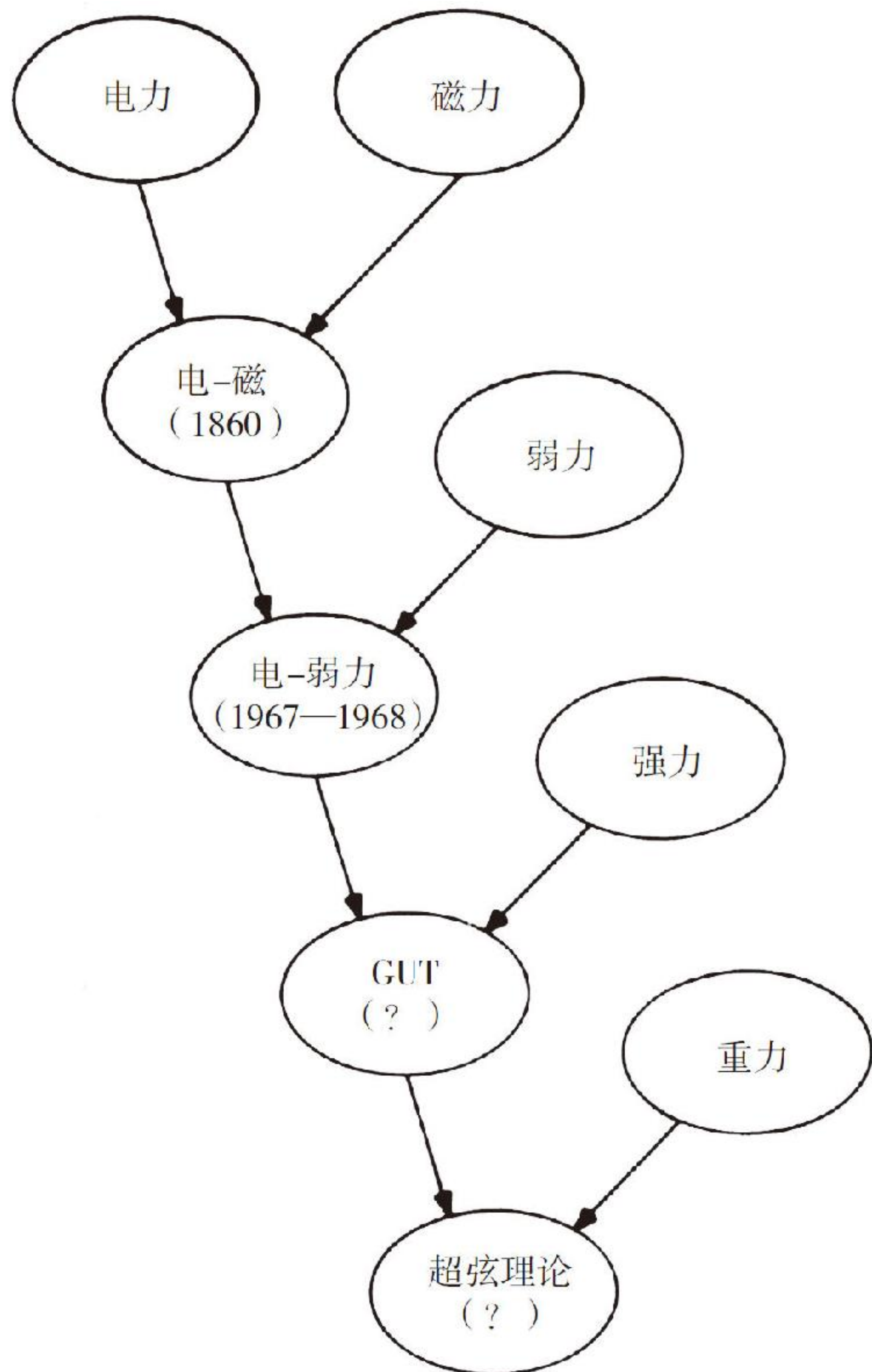
第四阶段，线索到位，做出了最终结论。在物理学中，这相应于过去几年，超弦理论已成为了一种没有竞争对手的理论。尽管实验情况仍悬而未决，科学家们已有足够的令人信服的理论结果相信超弦理论正是我们长期寻求的统一场论。



成为大师

如果谋杀之谜真的解决了，物理学家们会不会真让自己失业呢？想想格拉肖讲述的一个来自另一个行星的游客的故事：

> 亚瑟是一个来自遥远星球的聪明的外星人。他来到纽约城华盛顿广场看两位怪老头下棋。好奇的亚瑟给了自己两个任务：第一个任务是学习游戏规则；第二个任务是成为一代宗师。基本粒子物理学家的工作类似于第一项任务；对游戏规则非常了解的物理学家将面临第二个任务。大多数现代科学，包括化学、地质学以及生物学属于第二类；粒子物理学和宇宙学仅是部分知道规则。两种类型的努力都很重要——一种更“相关”，另一种更“基本”，两者都代表着对人类智能的巨大挑战。



这张图表代表统一场论演变的历史顺序，始于1860年麦克斯韦发现的电和磁可以统一为电磁力。

举个例子，想象一个癌症研究者使用分子生物学探测细胞核的内

部。如果物理学家告诉他，支配脱氧核糖核酸分子中原子的基本定律已被完全理解，他会发现在寻求征服癌症的过程中这个信息无任何用处。癌症的治疗涉及研究细胞生物学的规律且涉及了万亿个原子，任何现代计算机对此求解都非常困难。量子力学可用来说明控制分子化学的更大的规则，但需要一台电脑花费巨量的时间求解薛定谔方程才能做出有用的关于脱氧核糖核酸分子和癌症的说明。

称量子力学在原则上解决了所有的化学问题，这话相当于没说——它说，量子力学的确是原子物理的正确语言；然而，它又什么也没说，因为这个知识本身不能治愈癌症。

正如格拉肖所说，统一场论只是向我们解释了游戏规则，但它并未教会我们如何成为大师。

因此，超弦理论原则上或许可将所有的力量结合成一个连贯的理论，但它并不意味着物理学的结束。超弦理论只是打开了广阔的新的研究领域。



在星星的门槛上

今天物理学的显著之处在于我们做出了对时间开始的令人信服的陈述。那时，我们像蜘蛛一样，在技术上非常年轻，刚从我们星球的引力的禁锢中解脱出来。从乔尔丹诺·布鲁诺时代开始，我们的智力走过了漫长的路程。他于1600年被烧死在教堂的火刑柱上，只因为他说了句，“太阳只是一颗星星。”今天，在技术层面上，我们仍处于婴儿期，刚开始探索太阳系中最近的行星。我们最强大的火箭也几乎不能逃脱太阳的引力。

然而，鉴于我们相对原始的技术发展，我们仍试着陈述时间的起源，主要是通过使用对称的巨大力量。在进化的时间尺度上，我们离开森林大概只有200万年（这不过是一眨眼的工夫），但我们已对数10亿年前，时间起点发生的事情做出了仔细的以及合理的陈述。

可以预料，只有拥有大量资源的更先进的文明能发现统一场论。例如，天文学家尼古拉·卡尔达舍夫将先进文明分为三类——第一类文明控制整个地球资源；第二类文明控制恒星资源；第三类文明控制整个星系的资源。

在这个规模上，从技术上讲，我们仍处于第一类文明的门槛阶段。一个真正的第一类文明可完成超越当今技术范围的壮举。例如，第一类文明不仅能预测天气，还能在实际上控制它。第一类文明能将撒哈拉沙漠变成绿洲，利用飓风的能量，改变河道，从海洋中收获庄稼，改变各大洲的形状。第一类文明能窥视地球，预测或制造地震，从地球内部提取稀有矿物和石油。

相比之下，今天的我们连国家资源也不能绝对控制，更别说全地球了。然而，鉴于技术发展的几何级爆炸式展望，我们可以期待向第一类文明过渡，在几百年内掌握行星力量。

向第二类文明过渡，可以利用和管理控制太阳的能量，基于技术的几何增长可能需要几千年。第二类文明可能会殖民太阳系，或许还有一些邻近的太阳系，挖掘小行星带并开始建造可操纵太阳的巨大机器（第二类文明的能源需求异常巨大，人们必须实现对太阳的开采）。

向第三类文明过渡，掌握星系的资源，将我们的想象力发挥到极限。第三类文明可以掌握今天只能梦想的事情，比如星际旅行。也许，在艾萨克·阿西莫夫基金会系列中能一瞥第三类文明的模样，将整个银河作为背景舞台。

人类技术发展跨越了数十万年，不过，自牛顿发现引力定律以来的300年，我们在掌握自然基本规律上取得了不可思议的迅速进步。

很难想象我们的文明利用有限的资源如何最终向第一类文明过渡，然后充分利用统一场论的潜力向之后的文明过渡。牛顿和麦克斯韦，在他们的年代并未意识到某日人类会发送宇宙飞船至月球或者用巨大的发电厂给城市供电。在他们的时代，工业和商业太原始，无法想到他们理论中的一些固有的可能。

幸运的是，近年来，我们的技术进步呈几何级暴增。然而，我们的大脑和想象力却无法理解这样的几何成长。所以，科幻小说在几十年后重读时，总显得老旧过时。原因很简单，作者的想象力会受制于那个时代的技术限制。科幻小说仅是现状的线性推断或延伸，真实科学比科幻小说更离奇。

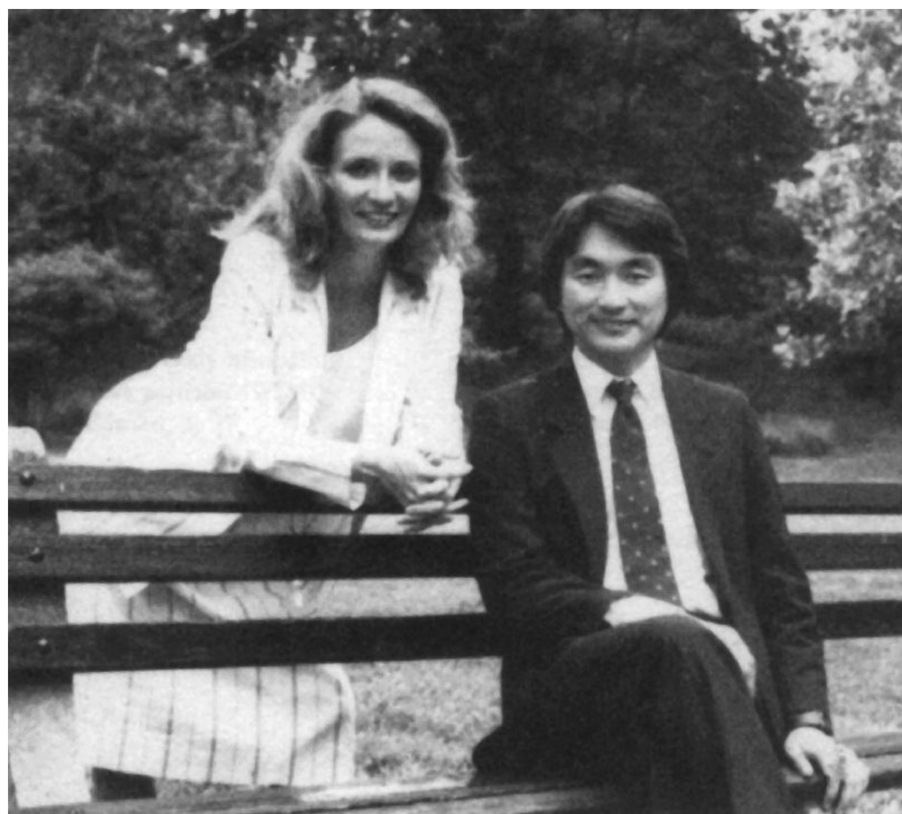
在这个框架下，可以想象预测统一场论有多难，因为我们受制于社会本身的相对原始性，我们的想象力太保守。

虽然我们未完全掌握第一类文明的行星资源，无法充分开发统一场论的实际应用，但我们有决心、智慧和精力探索统一场论。

我们的行动远未结束，只是刚刚开始。

《超弦论》引导读者探索当今理论物理学的新发现。这些发现使科学家找到了理论物理学最光明的新前景——超弦理论。本书讲解什么是超弦理论，以及它为何重要？这项革命性的突破有极大可能将爱因斯坦毕生梦想的“万物理论”变为现实——超弦理论可将物理学定律统一为一个单一描述，解释宇宙中所有的已知力。

该书由超弦领域的先驱之一加来道雄与詹妮弗·汤普森共同撰写。该书以激动人心的侦探故事的方式探讨了科学问题，以令人着迷的眼光审视了将不可能变为可能的新科学。



加来道雄博士是纽约城市大学研究生中心的理论物理教授。他以优异的成绩从哈佛大学毕业，在加州大学伯克利分校获得博士学位，并在普林斯顿大学任教。他是弦理论的创始人之一，撰写了8本书，发表了70多篇关于超弦、超重力和核物理的科学论文。他是广受好评的《超空间》《时间扭曲》《第十维度》的作者。《超弦论》被《纽约时报》和《华盛顿邮报》评选为年度最佳科学书籍之一。

詹妮弗·汤普森是一位作家，她与加来道雄合著了《核能》，被《基督教科学箴言报》选为1982年最佳书籍之一。她的关于科学、文化、旅游和食物的文章出现在许多出版物上，如《纽约时报》《旅游与休

闲》。

Hyperspace

超空间

《平行宇宙》一书作者

[美] 加来道雄（Michio Kaku） 著

伍义生 译

重庆出版集团 重庆出版社

科学家的冒险之旅：平行宇宙、时间弯曲、第十维度

A SCIENTIFIC ODYSSEY THROUGH PARALLEL UNIVERSES, TIME WARPS, AND THE 10TH DIMENSION





科学可以这样看丛书

高维理论、弦理论推导十维宇宙

穿越时空，门外汉都能读懂的世界科学名著

加来道雄将我们带入了另一个维度——十维宇宙。他用科学的方法探索宇宙为什么是平行的、多元的，以及虫洞的存在。

——约翰 · D . 巴罗，《万物理论》一书作者

在高维中探索时间旅行，
超弦理论统一十维宇宙，
物理学定律将在高维中得到简化！

超空间理论认为：我们的宇宙存在于四维时空以外的更高维度；它预言了超空间的精确维度是十维；它可以将所有已知的自然力统一起来；它可以计算时空曲率及打开虫洞所需的精确能量；它的高级表现形式为超弦理论。

人们总是不断追问，“我们从哪儿来？”“我们现处何处？”“我们将走向哪儿？”科学界普遍认为大爆炸是宇宙的起点，万物皆起源于大爆炸。科学证明，我们的宇宙现处于膨胀状态。我们的宇宙是无限膨胀下去直至温度接近绝对零度，还是膨胀到某个时刻开始逆向大坍缩直至整个宇宙焚灭？这取决于宇宙临界密度。

无论宇宙以何种趋势演化，似乎都难逃终极死亡的命运。人类或者任何智慧生命似乎都难逃终极死亡。超空间为我们提供了一种方式：掌握了超空间的技术，运用超空间的能量，我们可以打开“虫洞”、建造时间机器实现隧穿而免于死亡。

这是一场科学的革命，我们需要何种技术水平才能成为超空间的主人？爱因斯坦的广义相对论和质能方程告诉我们：物体的速度越快，时间越慢（放置其上的钟表走得越慢）；物体的速度越快，能量随之增长，故而质量也无限增大。因此，如试图让时间无限慢，甚至停止或逆向行走，就必须给物体无限大的速度，而这就需要无限大的能量。爱因斯坦受光速和能量的限制，终未解决这个难题。而超空间可以将这个问题简单化，超空间为时间机器的建造提供了可能性，这将是智慧生命在未来几个世纪甚至几千年将要实现的愿景。

《超空间》由理论物理学家加来道雄编写，他是弦理论创始人之一。他曾出版有多部著名畅销科普读物《平行宇宙》、《物理学的未来》、《心灵的未来》等。

科学可以这样看丛书

Hyperspace

超空间

科学家的冒险之旅:平行宇宙、时间弯曲、第十维度

〔美〕加来道雄(Michio Kaku) 著
伍义生 译

探知四维之外的维度
科学革命:超空间理论预言十维宇宙
建造时间机器,成为超空间的主人

重庆出版集团  重庆出版社

HYPERSPACE：A SCIENTIFIC ODYSSEY THROUGH PARALLEL UNIVERSES，TIME WARPS，AND THE TENTH DIMENSION By MICHIO KAKU

Copyright © 1994 by Oxford University Press

“Cosmic Gall．”From *Telephone Poles and Other Poems* by John Updike．Copyright © 1960 by John Updike．Reprinted by permission of Alfred A．Knopf，Inc．Originally appeared in *The New Yorker*．

Excerpt from“Fire and Ice．”From *The Poetry of Robert Frost*，edited by Edward Connery Lathem．Copyright 1951 by Robert Frost．Copyright 1923，© 1969 by Henry Holt and Company，Inc．Reprinted by permission of Henry Holt and Company，Inc．

Simplified Chinese edition copyright：2018 Chongqing Publishing House Co．，Ltd．

All rights reserved．

版贸核渝字（2017）第159号

图书在版编目（**CIP**）数据

超空间/（美）加来道雄著；伍义生译．—重庆：重庆出版社，2018.6

（科学可以这样看丛书/冯建华主编）

书名原文：Hyperspac

ISBN 978-7-229-13017-6

Ⅰ．①超…　Ⅱ．①加…　②伍…　Ⅲ．科学知识-普及读物　Ⅳ．①Z228

中国版本图书馆CIP数据核字（2018）第019441号

超空间

Hyperspace

〔美〕加来道雄（Michio Kaku）著　伍义生　译

责任编辑：连　果

责任校对：何建云

封面设计：博引传媒·何华成



重庆出版集团
重庆出版社　出版

重庆市南岸区南滨路162号1幢　邮政编码：400061　http://www.cqph.com

重庆出版集团艺术设计有限公司制版

重庆市国丰印务有限责任公司印刷

重庆出版集团图书发行有限公司发行

E-MAIL：fxchu@cqph.com　邮购电话：023-61520646

全国新华书店经销

开本：710mm×1000mm　1/16

印张：21.5

字数：330千

2018年6月第1版　2018年6月第1次印刷

ISBN 978-7-229-13017-6

如有印装质量问题，请向本集团图书发行有限公司调换：023-61520678

版权所有　侵权必究

目录

《超空间》一书的发行评语
前言
致谢
第一部分　进入第五维空间
1　超越时空的世界
2　数学家和神秘主义者
3　看见四维的人
4　光的秘密：四维中的振动
第二部分　统一在十维中
5　量子异端
6　爱因斯坦的复仇
7　超弦
8　来自第十维度的信号
9　创世之前
第三部分　虫洞：通往另一个宇宙的关口？
10　黑洞和平行宇宙
11　建造时间机器
12　碰撞的宇宙
第四部分　超空间的主人
13　超越未来
14　宇宙的命运
15　结论
注释
返回总目录

Advance Praise for Hyperspace
《超空间》一书的发行评语

加来道雄的这本充满奇幻和惊喜的书不能仅用当今的技术水平来审视。他精妙的科学构想让普通读者、科幻迷和物理爱好者兴奋不已。

——《出版周刊》（*Publishers Weekly*）

对超空间的描述只是一种夸张？大部分的人都认为我们陷于一个宇宙，而加来道雄自信地将我们带入了另一个维度——十维宇宙。用科学的方法探索宇宙为什么是平行的、多元的，以及虫洞存在的可能性。

——约翰·D．巴罗（John D．Barrow），《万物理论》（*Theories of Everything*）一书作者

这是一本最棒的关于高等物理的通俗读物！

——吉姆·霍尔特（Jim Holt），《华尔街日报》（*Wall Street Journal*）

《超空间》文字优美，它将复杂的科学概念变得通俗易懂，易于大众理解。加来道雄推演的十维空间之旅让人陶醉。

——达纳·佐哈（*Danah Zohar*），独立撰稿人

这是一次在时间旅行和高维理论中的冒险。

——《每日电讯》（*Daily Telegraph*）

加来道雄的作品涵盖了现代物理学中最复杂的领域……这与相关领域的其他书籍大不相同，加来道雄给人们带来了更贴近问题本质的体验。

——《福克斯杂志》（*Focus*）

本书的描述异常清晰，结构完整。作者对每个章节的论述都提供了丰富的实例。

——约翰·格里本（John Gribben），《新科学家》（*New Scientist*）

This book is dedicated to my parents
谨以此书献给我的父母

前言

科学革命，顾名思义，就是向常识挑战。

如果我们此前所有对宇宙常识的认知都是正确的，那么，几千年前科学就解决了宇宙的秘密。科学的目的就是剥去事物外表，揭露内在本质。事实上，如果外表和本质完全相同，科学也就失去了存在的意义。

也许，我们根深蒂固地认为：世界是三维的。不言而喻，长度、宽度、高度，足以描述我们可见宇宙中的所有物体。对婴儿和动物的实验表明，我们固有的观念——世界是三维的——是与生俱来的。如果我们将时间作为另一个维度，那么，这四个维度足以记录宇宙中的所有事件。无论我们的仪器探测到哪儿，从原子深处到最远的星群，我们所发现的都是这四个维度的踪迹。公开否认这种看法，即可能存在其他维度或者我们的宇宙可能与其他宇宙共存，都会招来冷嘲热讽。对我们这个世界的根深蒂固的偏见认知，最早是由2000年前的古希腊哲学家们推测而出。今天，它将屈服于科学的进步。

本书涉及一场科学革命，这场革命由“超空间理论”所引发[1]，超空间理论认为，有超越于人们普遍接受的四维时空以外的维度存在。世界范围内的物理学家，包括若干诺贝尔奖得主，越来越承认我们的宇宙可能确实存在于更高维的空间中。如果这个理论被证明是正确的，它将对我们理解宇宙产生深远的影响和哲学的革命。在科学术语上，超空间理论被称为卡鲁扎-克莱因（Kaluza-Klein）理论和超引力理论。但它最高级的表述形式是——超弦理论。这一理论甚至预言了超空间的精确维度：十维。通常的四维空间（长、宽、高、时间）的认知，现在被6个

更加宽广的维度所扩充。

我们提醒大家，超空间理论还没有得到实验证实。事实上，在实验室证实这个理论会异常困难。然而，这个理论已经席卷了世界上的大多数物理研究实验室，已经不可逆转地改变了现代物理学的科学绘景。在科学文献中产生了数量惊人的与此相关的研究论文。然而，几乎没有人为外行的读者著书解释高维空间的迷人性质。因此，如果确实有这场革命的话，公众也只是模糊地意识到。事实上，在大众文化中肤浅地介绍其他维度和平行宇宙往往会对读者带来误导。这是令人遗憾的，因为理论的重要性在于它能在一个惊人的简单框架中统一所有已知的物理现象。本书首次在科学上就有关超空间的引人入胜的现行研究作了可信易懂的描述。

为解释为什么超空间理论在理论物理界产生了巨大的骚动，我设立了四个基本主题，像一根主线贯穿全书。这四个主题将该书分成四个部分。

在第一部分，我强调的主题是：自然法则在高维空间中表达时将更加简单而优雅，并由此展开了超空间的早期历史。

为了理解为何添加更高的维度可以简化物理问题，可以考虑下面的例子：对古埃及人来说，天气变化是个谜。是什么引起季节的更替？为什么他们向南旅行时，天气会变得暖和？为什么风通常吹向一个方向？受到地势的限制，古埃及人无法解释天气问题。他们认为地球似乎是扁平的，就像二维平面。但是，现在假想我们用火箭将古埃及人送到外层空间，在那里，他们可以看到简单而完整的地球正在它的轨道上环绕太阳转动。刹那间，这些问题迎刃而解。

从外层空间看地球，可以清楚地看到地球的轴偏离竖直方向约23度（“竖直方向”是指地球环绕太阳的轨道平面的垂直方向）。因为有了这种偏离，地球北半球在它的部分轨道上所接收到的太阳光会低于另一部分轨道上接收到的太阳光。因此，地球有了冬天和夏天。又因为赤道比北极和南极地区接收的阳光多，所以当我们接近赤道时气候会变得暖和。同理，由于地球相对于站在北极的人作逆时针自转，因此，寒冷的极地空气朝着赤道方向向南移动时会突然转向。这个由地球自转运动引起的热空气团和冷空气团的运动有助于解释为什么风通常吹向一个方向，而风的方向取决于你在地球上所站的位置。

概括地说，一旦我们从太空眺望地球，原本模糊的天气规律就变得易于理解了。因此，解决问题的办法就是进入太空，进入第三维度。当你在太空眺望三维地球时，在扁平世界难以理解的事情就突然变得易于理解了。

同样，万有引力定律和光的定律似乎完全不同。它们服从不同的物理假设和不同的数学规律。人们试图将它们拼接起来总是归于失败。但

是，如果我们在先前的四维（三维空间加一维时间）中增加一维，即第五维。那么，控制光和引力的方程就像两块拼图一样融合起来。光事实上可以被理解为第五维度中的振动。以这种方式，我们发现光的规律和引力的规律在第五维度中变得简单。

因此，许多物理学家现在相信，传统的四维理论“太小”而不能充分地阐明描述宇宙中的那些力。在四维理论中，物理学家用笨拙的不自然的方式将这些自然力挤压在一起。此外，这种混合杂配理论是不正确的。在超出四维之外，我们有了足够的空间以优雅的自我一致的方式来解释基本力。

在第二部分，我强调超空间理论可以将所有已知的自然力统一到一个理论中，并详尽阐述了这一简单思想。因此，超空间理论可能是2000年来科学研究的最高成就：所有已知物理力的统一。它可以赠予我们“万物理论”这个物理学的圣杯，爱因斯坦为此曾追求了几十年。

在过去半个世纪，科学家们一直困惑为什么宇宙的四种力——宇宙引力、电磁力、强核力、弱核力——存在巨大的差别。20世纪伟大的思想家们所进行的将所有已知力统一起来的尝试均以失败告终。然而，超空间理论给出了解决这个问题的可能性，它以一种优雅的方式解释四种自然力，并同时解释了看似随机的亚原子粒子的组合。在超空间理论中，“物质”也被看作是整个空间和时间织物的振动。因而可以得出一种迷人的可能性，即我们所看到的周围的一切，从树木、山脉到星星本身，不过是超空间中的振动。如果这是真的，那么它给了我们一种漂亮而简单的几何方法，对整个宇宙提供了一种条理清晰、令人信服的描述。

在第三部分，我们探讨了在极端情况下，空间可以被拉伸乃至被撕裂的可能性。换句话说，超空间可以提供一种穿越时空的手段。虽然我们强调这在目前尚处于猜测阶段，但物理学家们正在认真地分析“虫洞”的性质。“虫洞”是连接互相远离的各部分时空的隧道。例如，加利福尼亚理工学院的物理学家已认真地提出了建造时间机器的可能性，它由连接过去和未来的虫洞构成。时间机器现在已不再是猜测和幻想，而成为了科学研究的合法领域。

宇宙学家甚至提出了一种惊人的可能性——我们的宇宙只是无数个平行宇宙中的一个。这些宇宙可以被比作悬浮在空气中的肥皂泡的巨大集合。通常情况下，这些气泡宇宙之间并不会相互接触。但是，通过分析爱因斯坦的方程，宇宙学家已经证明可能存在虫洞或管的网络连接这些平行宇宙。在每个肥皂泡上，我们可以定义我们特有的空间和时间。空间和时间只在气泡的表面有意义；在这些气泡以外，空间和时间毫无意义。

尽管这个讨论的诸多结果尚处于纯理论阶段，但超空间旅行有可能为我们提供最实际的应用：拯救包括我们在内的智慧生命免于宇宙的死

亡。科学家们普遍认为，宇宙及随它演化了几十亿年的所有生命终将死亡。例如，根据时下流行的大爆炸（Big Bang）理论，150亿年至200亿年前发生的大爆炸造成了宇宙膨胀，被抛出的恒星和星系以巨大的速度远离我们。然而，如果宇宙在某一天停止扩张，开始收缩，它将最终毁灭于一场叫做大坍缩（Big Crunch）的火灾。宇宙中的所有智慧生命将被巨大的热量蒸发。然而，一些物理学家已经推测，超空间理论可能为智慧生命提供一种逃亡的希望，也是唯一的希望。我们在宇宙死亡的最后几秒，智慧生命可以通过躲进超空间而逃脱这场大坍缩给我们带来的灾难。

在第四部分，我们对一个最终具有实用性的问题作了推断：如果理论证明超空间是正确的，那么我们什么时候才能驾驭超空间这股力量？这不仅是一个学术问题。因为在过去，仅仅掌握了四种基本力中的一种就不可逆转地改变了人类历史的进程，使我们摆脱了古代的无知和肮脏，从工业社会走到现代文明。在某种意义上说，人类如果渐次掌握了这四种基本力，我们就能用新的眼光看到人类历史的巨大胜利。随着这些力被逐个发现并掌握，文明史将逐次经历着意义深远的变化。

例如，当艾萨克·牛顿写下经典的引力定律时，他发展了力学理论。这给了我们控制机器的定律，反过来又大大加快了工业革命。工业革命引发了各种政治力量，并最终推翻了欧洲的封建王朝。在19世纪60年代中期，詹姆斯·克拉克·麦克斯韦（James Clerk Maxwell）写下了电磁力的基本定律，他开创了电气时代。它给了我们发电机、收音机、电视、雷达、家用电器、电话、微波、消费电器、电子计算机、激光和许多其他的电子奇迹。不懂和不会利用电磁力，文明就会停滞并冻结在电灯和马达发现之前的时代。在20世纪40年代中期，当核力被利用时，随着该星球上最具破坏性的武器原子弹和氢弹的成功研制，世界又一次被颠倒过来。因为我们还未能认识主宰宇宙的全部自然力，所以人们可以猜想——谁（某个文明）掌握了超空间理论，谁就能成为宇宙的主人。

由于超空间理论是界定明晰的数学方程，我们可以计算时空弯曲成圆号（或称法国号）或创造出连接宇宙遥远的地方的虫洞所需的精确能量。不幸的是，计算结果令人失望，需求的能量远远超过我们星球所能利用的所有能量。事实上，这个能量是我们最大的原子加速器能量的一万亿倍。我们必须等待几个世纪甚至几千年，直到我们的文明发展到能掌握时空的能力，或者是联系上已掌握了超空间的先进文明。因此这本书的结尾探索了一个有趣的、具有猜测性的科学问题：我们需要什么技术水平才能成为超空间的主人。

因为超空间理论远超出了通常概念下我们对时空（时间和空间）的认知，所以我在书中穿插了几个纯粹假想的故事以帮助大家理解。我使用这种教学技巧是受到了诺贝尔奖得主伊西多尔·拉比（Isidore I. Rabi）与他的物理学听众讨论问题的启发。拉比感叹美国科学教育的糟糕状态，斥责物理学界忽略为公众特别是为青年普及科学进展的事实。实际上，他告诫道：科幻作家比所有的物理学家做了更多的科学普及工

作。

我在此前出版的《超越爱因斯坦：探索宇宙理论》（合著者詹尼弗·特雷纳）一书中，研究了描述亚原子粒子性质的超弦理论。并详细讨论了“可见宇宙”，以及物质的复杂性如何用微小的振动弦来解释。在这本书中，我扩展了一个不同的主题——探索“不可见宇宙”，即几何和时空的世界。这本书的重点并非讲述亚原子粒子的性质，而是它们可能生活的高维世界。在阅读本书的过程中，读者会看到更高维度空间并非夸克发挥它们永恒作用的空洞的、被动的舞台，高维空间实际上已成为大自然这出戏中的主角。

在讨论超空间理论的迷人的历史中，我们将会看到，由2000年前古希腊人开启的对物质终极本质的探索是一部漫长而曲折的历史。当未来的科学史学家书写这段漫长历史的最后一篇时，他们很可能会记录下：决定性的突破是三维或四维常识理论的失败以及超空间理论的胜利。

加来道雄
1993年3月于纽约

致谢

在撰写这本书的过程中，我幸运地邀请到杰夫瑞·罗宾斯（Jeffrey Robbins）担任本书的编辑。我之前出版的三本理论物理教科书也是罗宾斯担任的编辑工作，他悉心的指导为图书的出版提供了帮助。它们分别与统一场论、超弦理论、量子场论有关。这本书是我的第一本针对普通读者而创作的科普书，专为大众读者而著。可以和罗宾斯一起紧密合作，我感到万分荣幸。

我要感谢詹尼弗·特雷纳（Jennifer Trainer），她是我前两本书的合著者。她再次应用了她的写作技巧使我的文章尽可能流利和连贯。

我还要感谢帮助过我的其他人，他们对本书的初稿提出了宝贵的意见：伯特·所罗门（Burt Solomon）、莱斯利·梅瑞狄斯（Leslie Meredith），尤金·梅拉乌（Eugene Mallove），和我的经纪人斯图尔特·克里切夫斯基（Stuart Krichevsky）。

最后，我要感谢普林斯顿高等研究院，感谢它的“好客”。本书的大部分内容撰写于此。爱因斯坦曾在这个研究院度过了他生命的最后几十年。这是一个适合科学革命发展的地方，在这个地方，它的开创性工作得到了扩展和美化。

Part I
Entering the Fifth Dimension

第一部分
进入第五维空间

1　超越时空的世界

我想知道上帝如何创造这个世界，我对这种或那种现象不感兴趣。我想知道“他”的思想，其他都是细节。

——阿尔伯特·爱因斯坦



一个物理学家的教育

童年时的两次偶然事件极大地丰富了我对世界的理解，并引领我走上成为理论物理学家的道路。

我记得父母有时会带我参观三藩市著名的日本茶园。我当初最幸福的记忆是，蹲在池塘边沉迷于荷花下缓慢游动的鲜艳的鲤鱼。

在这些安静的时刻，我自由地让我的想象漫游。我会问自己傻傻的只有孩子才会问的问题，如池塘的鲤鱼会如何看它周围的世界。我想，它们的世界一定奇妙无比！

鲤鱼一生都生活在这浅水池塘中，它们相信它们的“宇宙”是由浑水和荷花构成的。它们绝大部分时间在池塘的底部觅食，它们会模糊地意识到，在水面之上可能存在一个陌生的世界。我们所处世界的性质超出了它们的理解范围。有趣的是，我坐的地方距鲤鱼仅有英寸远的距离，但我与它们却似乎相距甚远。鲤鱼和我生活在两个不同的宇宙，但我们并不会侵犯到彼此的世界，两个不同的宇宙仅被水的表面这个最薄的屏障分开。

我曾经想象过，可能鲤鱼中也有鲤鱼“科学家”。我想，它们会嘲笑提出在荷花之上存在一个平行世界的任何一条鱼。对一位鲤鱼“科学家”来说，唯一真实的东西是鱼能够看到或触摸到的东西。这个池塘就是一切。超出这个池塘的看不见的世界是没有科学意义的。

有一次下暴雨，成千上万的小雨滴落到池塘的水面上。池塘水面被雨水扰乱了，荷花被水波推得四面摇晃。我躲避着风雨，心里想着，这一切对鲤鱼来说会是什么样子。对它们来说，荷花似乎是自己在移动，没有任何东西推它。因为它们生活在水中（如同我们周围的空气和空间），而看不见水外的世界。它们会为荷花可以自己晃动而感到困惑。

我曾想，它们的“科学家”也许会编造一个巧妙的叫做“力”的发明来掩饰它们的无知。它们无法理解在看不见的水的表面存在波，它们会得出这样的结论——荷花之所以能在不被触摸的状况下运动，是因为存在一种看不见的神秘的力作用在它的身上。它们可能会给这个幻觉一个令人印象深刻的，崇高的名称（如超距作用，或荷花有不受接触就能移动的能力）。

我继续假想，如果我将手伸到水里，从池塘里捞出一条鲤鱼“科学

家”会发生什么？在将它放回水里之前，在我检查它时它会剧烈地扭动。我想，其他鲤鱼会如何看待此事。对它们来说，这将是一个真正令其不安的事件。它们首先会注意到它们的一位“科学家”从它们的宇宙消失了，且没有留下任何痕迹。它们在自己的世界中四处寻找，却了无音讯。然后，几秒钟后，我将它放回到池塘中，“科学家”又突然从它们的世界中冒了出来。对其他鲤鱼来说，这真是一个奇迹。

这个鲤鱼“科学家”惊魂稍定，给鲤鱼们讲述了一个令人吃惊的故事。它说，“没有任何预告，不知怎么我就被举出了宇宙（池塘），被抛到一个神秘的虚空世界，看见了从未见过的炫目的灯和奇形怪状的物体。最奇怪的是抓住我的那个动物一点也不像鱼。我震惊地发现它没有鳍，更神奇的是，它没有鳍也能运动。我吃惊地发现我们熟悉的自然规律在这个幽冥世界不再适用。然后，我突然发现自己又被扔回到我们的宇宙中。”（当然，这个超越宇宙之旅是荒诞的，大多数的鲤鱼会将这个“科学家”的言论当作胡话。）

我常想，我们与那些心满意足地生活在池塘中的鲤鱼也许没什么区别。我们生活在自己的“池塘”中，相信我们的宇宙只有那些我们可以看到或触摸到的东西。像鲤鱼一样，我们的宇宙仅由熟悉的和人类可见的事物组成。我们自以为是地拒绝承认在我们生活的宇宙周围存在我们尚不能掌握和认知的平行宇宙或多维空间。我们的科学家发明了像力这样的概念，也许只是因为他们无法想象我们周围的空虚空间的无形的振动。一些科学家甚至嘲笑高维世界的说法，是因为他们不能在实验室中便利地验证它。

从那时起，我就一直对存在高维世界的可能感到痴迷。像大多数孩子一样，我如饥似渴地阅读这一类型的冒险故事。这些故事中的时间旅行者进入其他维度探索不可见的、常规物理定律不再适用的平行宇宙。我越来越想知道，那些漫游于百慕大三角的船只是否神秘地消失在太空的一个洞中；我惊叹于艾萨克·阿西莫夫的“基地”系列科幻小说，书中对超空间旅行的发现导致了一个银河帝国的崛起。

我童年的第二个事件也深深地、持久地影响着我。当我8岁时，我听到一个故事，此后，这个故事一直留在了我的脑海。我记得我的老师给我们讲述了一个已故的伟大科学家的故事。老师对他非常崇敬，称他为历史上最伟大的科学家之一。老师说很少有人能理解他的想法，但他的发现改变了整个世界和我们周围的一切。我当时并不清楚老师希望通过这个故事给我们传达什么，但我对这个故事中的科学家产生了极大兴趣。他在去世前也未能完成自己的伟大发现。老师说这个科学家花费了若干年的时间在这个理论研究上，直到他去世时，他的桌子上仍放着未完成的文章。我对此产生了极大的好奇。

我被这个故事迷住了。在孩子的眼中，这是一个伟大的秘密——他的未完成的工作是什么？在他书桌上的这篇文章写的是什么？什么问题如此困难以至这样伟大的科学家用毕生的精力追求？我小心翼翼地决定

学习有关阿尔伯特·爱因斯坦（Albert Einstein）的一切以及他那未完成的理论。我记得，我花了很多的时间安静地阅读我能找到的关于这个伟人和他的理论的每一本书。当我读完我们当地图书馆中所有与他有关的书籍后，我开始搜寻整个城市的图书馆和书店，急切地希望寻找更多的与他相关的线索。我很快了解到，这个故事远比精彩的谋杀案的秘密更刺激，甚至比我们能想象到的任何事情都重要。我决定要对这一秘密刨根问底，即便是为此必须成为一名理论物理学家也在所不辞。

我很快得知，爱因斯坦桌上未完成的文章就是他试图构造的所谓的统一场论。这是一个可以解释一切自然规律的理论，从最小的原子到浩瀚的星系。然而，作为一个孩子，我不能理解畅游在茶园池塘里的鲤鱼与爱因斯坦桌上未完成的文章也许存在的关联。我更不可能理解只有高维空间才是解决统一场论的关键。

后来，在高中阶段，我读遍了本地大部分图书馆中这方面的书籍，并常常造访斯坦福大学的物理图书馆。在那里，我偶然发现了一个事实，爱因斯坦的工作使一种新的被称为反物质的物质具有存在的可能性。反物质的作用与普通物质相似，反物质与物质相接触，自身就会消失并产生能量爆发。我知道当时的科学家已建造了大型机器（或称为“原子加速器”），这种机器能在实验室中产生微量的这种奇特物质——反物质。

年轻的优点是对世俗的约束无所畏惧，而这些约束通常对大多数成年人来说是不可逾越的。我开始建立自己的原子加速器，却丝毫没有考虑其间可能会经历的困难和障碍。我不停地研究科学文献，直到相信自己拥有建立一个电子感应加速器的能力。这种加速器可以将电子激发到数百万电子伏特（100万电子伏特是指电子被100万伏电场加速所获得的能量）。

首先，我购买了少量的钠22，它是一种能自然地放射正电子（电子的反物质对应）的放射性物质。然后，我建造了一个云室，使亚原子粒子留下的轨迹可见。我拍摄了成百上千张反物质留下的痕迹的精美照片。接下来，我在周围地区清理了一个大型电子仓库以组装必要的硬件，包括几百磅废旧变压器钢。在我的车库，我将组装230万伏的电子感应加速器，它强大到足以产生反电子束。为建造电子感应加速器所需的强大磁力，我说服了我的父母，让他们帮助我在我读高中的那个学校的足球场中缠绕了22英里（35公里）长的铜线。我将整个圣诞假日都花费在了这条50码（46米）长的线路上，以便缠绕和安装笨重而巨大的线圈，这种线圈可以使高能电子的运动路径发生弯曲。

最后建成的300磅（136公斤）重，6000瓦的电子感应加速器耗尽了我的房子所有的每一盎司能量。当我打开它时，通常会烧断每根保险丝，房子变得漆黑一团。随着房子周期性地陷入黑暗，我的母亲常常摇头（我想，她可能困惑于她的孩子为何不去打棒球或篮球，而一定要在车库里建造这些巨大的电气设备？）。我庆幸的是，这台机器成功地产

生了比地球磁场强20000倍的为加速电子束所需的磁场。



直面第五维度

由于家境并不宽裕，我的父母担心我不能继续我的试验和我的教育。幸运的是，我赢得的各种科学项目的奖励引起了原子科学家爱德华·泰勒（Edward Teller）的注意。他的妻子慷慨地为我作了安排，让我收到了一份为期4年的哈佛大学的奖学金，允许我在那里可以实现自己的梦想。

具有讽刺意味的是，尽管在哈佛我开始了自己在理论物理学方面的正规教育，但也正是在这里，我对高维度的兴趣逐渐熄灭。像其他物理学家一样，我开始严格而彻底地分别学习自然界中每一种力所对应的高等数学的表达形式。这些自然力彼此之间是完全孤立的。我记得，曾经为我的导师解电动力学的一个问题，然后我问他，如果空间在高维中是弯曲的，这个问题的解将会是什么。他用一种奇怪的眼光看着我，好像我是个精神失常的疯子。像比我先来的人一样，我很快学会了放下孩提时关于高维空间的幼稚观念。我被告知，超空间理论不是严肃学习的合适对象。

我对这种脱节的研究物理的方法感到不满，我的思绪常常会飘回到生活在茶园池塘里的鲤鱼身上。虽然我们常用的电学和磁学的方程式在19世纪就被麦克斯韦发现且一直被完美地应用，但这些方程式似乎也是武断的。我认为物理学家像鲤鱼一样发明了这些“力”来掩盖我们对物体互不接触而能移动的无知。

我在研究中了解到，19世纪有一场大争论——光是如何在真空中传播的（事实上，从恒星发出的光可以通过外部空无一物的空间毫不费力地传播好几万亿英里）。实验也毫无疑问地证明了光是一种波。如果光是一种波，那就需要一些使它发生“波动”的介质。声波需要空气，水波需要水，但真空中没有东西可以使光波动。于是，我们设立了一个悖论。如果没有使光波动的介质，光如何成为波呢？所以，物理学家创造出了一种称为以太的物质，以填补真空中光的介质。然而，实验结果却无可辩驳地证明了“以太”并不存在。（奇怪的是，直到今天，物理学家对这一难题仍没有作出正确回答。但几十年来，我们却对这样的思想习以为常：即使不存在介质，光也能在真空中以波的形式传播）

后来，我成为伯克利加州大学物理系研究生。我十分偶然地发现了一个替代理论。尽管这个理论存在争议，但它能解释光为何可以通过真空旅行。这一理论是如此古怪，当我偶然发现它时十分震惊。这种震惊与美国人乍闻肯尼迪总统被枪杀的感觉颇为相似。他们能永久记住听到

这个惊闻消息的那一刻，自己正在干什么，正在和谁说话。我们物理学家在第一次邂逅卡鲁扎-克莱因理论时也受到了极大震动。因为这个理论被认为是一种疯狂的推测，因而从不在研究生课程上讲述。于是，年轻的物理学家只能在有关读物中偶然地去发现它。

这个替代理论给光作了最简单的解释：它实际上是一个五维（或如神秘主义者通常所说的那个第四维度）的振动。如果光可以穿过真空，这是因为真空本身是振动的，因为“真空”实际存在于四个维度的空间和一个维度的时间之中。通过添加第五维度，引力和光就能以惊人的简单的方式统一起来。回顾我童年的茶园经历，我突然意识到这正是我一直在寻找的数学理论。

然而，老的卡鲁扎-克莱因理论存在许多困难的技术问题，这使它在面世半个世纪以来一直被束之高阁。但是，过去10年中所有这一切都发生了改变。基于这一基础理论的更高级的翻版理论，如超引力理论，特别是超弦理论，已最终消除了该理论的不自洽性。突然间，高维理论的研究在全世界的研究实验室中被检验并倡导。现在世界上许多顶尖物理学家相信，在普通的思维时空之外，存在更高的维数。这个想法，实际上已成为了激烈的科学研究的焦点。事实上，许多理论物理学家现在认为，更高的维度可能是创造一个统一自然规律的全面理论——超空间理论——的决定性步骤。

如果超空间理论被证明是正确的，那么未来的科学史家可能会记录下：在20世纪的科学中实现了一个伟大的概念革命，超空间理论可能是解开自然最深处的秘密与“创世”的钥匙。

这个开创性的概念已引发了科学研究的雪崩：全世界的重要的实验室写下几千篇文章致力于探索超空间的性质。《核物理》和《物理快报》两大领先科学杂志都发表了大量文章分析这个理论。200多个国际物理会议已资助探索高维空间的研究。

不幸的是，我们还远远不能用实验验证宇宙存在于更高维度。（需要什么才能证明该理论的正确性，以及可能的开发超空间能力的问题，将在本书后部分讨论。）然而，这一理论现已成为现代理论物理学的一个合法分支并牢固地确立起来。例如，爱因斯坦度过他生命最后几十年的普林斯顿高等研究院（本书的写作地），现在正是高维时空研究的活跃中心之一。

史蒂文·温伯格（Steven Weinberg），1979年获得诺贝尔物理学奖。他最近总结这个概念革命时评论说，理论物理似乎越来越变得像科幻小说。



为什么我们不能看到更高的维度？

这些革命性的思想初看起来似乎很奇怪，因为我们理所当然地认为我们生活在三维世界之中。已故物理学家海因茨·帕格尔斯（Heinz Pagels）指出，“我们的物理世界的一个特征是如此之明显，以至于大多数人从未怀疑过空间是三维的这一事实”。几乎是出于本能，我们知道任何物体都可以通过给出它的高度、宽度和深度来描述。通过给出三个数字可以找到空间中的任何位置。如果我们想约某人在纽约吃午饭，我们说，“在四十二街和第一大道拐角处的大楼24层见。”头两个数字为我们提供了街道的角落，第三个数字则描述了约会地离地面的高度。

飞机上的飞行员也能用三个数字来确定他们的准确位置——高度和地图上确定其位置的两个坐标。事实上，指定这三个数字可以确定世界上的任何位置，从鼻尖到可见宇宙的末端。即使幼儿也明白这个道理：对幼儿的测试表明，他们如果爬到一个悬崖的边缘，会在边缘处望一望，再爬回来。幼儿除了本能地理解“左”、“右”、“向前”、“向后”外，他也能本能地理解“上”、“下”。因此，直观的三维概念从童年时代就扎根于我们的脑海。

爱因斯坦将这个概念作了扩展，将时间作为第四维度包括了进来。例如，为了与某人共进午餐，我们必须指定时间。比如，下午12：30在曼哈顿见面。即规定了一个事件，我们还需要描述它的第四个维度——事件发生的时间。

今天的科学家有兴趣超越爱因斯坦的四个维度的概念。当前科学兴趣集中在第五维度（在一维时间和三维空间之外的那个维度）和更高维度。（为了避免混乱，贯穿本书，我按照习俗称第四维为超过长度、宽度和高度的空间维度。物理学家们实际上称此为第五维度，但我遵循历史先例。我们称时间为第四时间维度。）

我们如何看见第四个空间维度（即第五维度）？

问题是我们无法看见。高维空间是不能用人类的眼睛观察到的。因此，即使尝试也是徒劳。德国著名物理学家赫尔曼·冯·亥姆霍兹（Hermann von Helmholtz）将不能“看见”第四维与盲人无法构想颜色的概念相比较。不管我们如何滔滔不绝地向盲人描述“红色”的特征，但任何语言都不能确切地将颜色含义告知盲人。即使是在超空间领域工作多年的有经验的数学家和理论物理学家也会承认他们无法将其可视化。相反，他们只能返回到数学方程的世界。尽管数学家、物理学家、计算

机专家在解多维空间的方程时并没有什么困难，但人类却不可能想象可视化超出他们自己的宇宙。

充其量，我们可以使用上世纪末本世纪初数学家兼神秘主义者查尔斯·辛顿（Charles　Hinton）设计的各种数学技巧，可视化高维物体的投影。其他数学家，如布朗大学的数学系主任托马斯·班科夫（Thomas Banchoff）也写出了一个计算机程序，他能将高维物体的投影投射到二维的计算机屏幕上，使我们能操纵它。就像古希腊哲学家柏拉图说的那样，如同洞穴居民抱怨只能看到洞外丰富生活的暗淡的灰色的阴影，班科夫的计算机也只允许我们看到高维物体的投影。（事实上，由于进化的原因，我们不可能可视化更高的维度。我们的大脑已经进化为可以处理三维中的无数的紧急事件。我们可以通过及时地不停地思考对扑面而来的狮子或恶意进攻的大象作出反应。一个人如果能更好地可视化物体在三个维度中如何移动、旋转和扭曲，相比于那些不能可视化这些运动的人就具有了明显的生存优势。遗憾的是，从进化的角度，人类并无必要去掌握四维空间中的运动。能够看到四维空间无助于人们抵御杀气腾腾的剑齿虎。狮子和老虎不会通过第四维度袭击我们。）



自然法则在更高维度上更简单

彼得·弗罗因德（Peter Freund）是芝加哥大学著名的恩里科费米学院的一位理论物理学教授，他喜欢用有关高维宇宙的性质来愉悦观众。弗罗因德是一位超空间理论的早期开拓者，那个时候主流物理学认为超空间是一种奇谈怪论。多年来，弗罗因德和一小组科学家孤立地研究高维科学。但现在，它终于成为时尚的和合法的科学研究分支。使他高兴的是，他发现他的早期努力终于得到了回报。

弗罗因德不是那种狭隘的、顽固的、凌乱的、传统的科学家形象。相反，他彬彬有礼、善于表达、有教养，并具有狡猾的、顽皮的笑容。他常常将快速突破的科学发现以迷人的故事形式讲述给普通听众。他能轻松自如地在黑板上书写密密麻麻的杂乱的方程式或在鸡尾酒会上轻松地开玩笑。他说话带着浓郁的罗马尼亚口音。弗罗因德有一种罕见的本领，他总能以一种生动的迷人的风格解释最神秘的复杂的物理概念。

弗罗因德提醒我们，传统上的科学家是以怀疑的态度看待高维的，因为它们不能被测量，也没有任何特别的用途。然而，今天越来越多的科学家认识到，任何一种三维理论都“太小了”，三维理论无法描述支配我们宇宙的力。

正如弗罗因德强调的，在物理学过去10年间贯穿的一个主题是：自然法则在高维中变得越来越简单，越来越优雅，高维是它们的天然的家。光和引力的规律在高维时空中表达时找到了一个天然的表达式。统一自然规律的关键一步是增加时空的维数，增加到可以容纳更多的力。在更高的维度我们有足够的“空间”来统一所有已知的物理力。

弗罗因德在解释为什么高维度激发了科学世界的想象时使用了以下比喻：“思考一下猎豹这个溜光的、美丽的在地球上跑得最快的动物，它自由漫步在非洲的大草原上。在它的自然栖息地，它是一个瑰丽的动物，几乎是一件艺术品，它的奔跑速度和奔跑动作的优雅简直无与伦比。现在，”他继续说道，

> “想象一只被捕获并被扔进动物园笼子里的悲惨的猎豹。它失去了原来的优雅和美丽，被迫表演以取悦人们。我们看到的是笼中猎豹的消沉的意志，而看不到它原有的威力和优雅。我们可以将猎豹比作物理规律，它在自然环境中是美丽的。物理规律的自然栖息地是高维时空。然而，只有在它们支离破碎地摆放在笼子里时才能被测量，这个笼子就是我们的三维实验

室。我们只有在猎豹的优雅和美丽被剥夺之后才能看到它。”

几十年来，物理学家一直在思考为什么自然界的四种力看起来如此支离破碎，为什么“猎豹”在它的笼子里看起来如此可怜和消沉。弗罗因德说，这四种力看起来大不相同的根本原因是我们一直在观察“笼中的猎豹”，我们的三维实验室是物理定律的毫无生机的动物园的笼子。但是，当我们在它们的自然栖息地高维时空中制定定律时，我们才能看到它们真正的辉煌和力量。在那里，定律变得简单而强大。现在席卷物理的革命是认识到超空间也许是猎豹的天然家园。

为说明为何添加更高的维度可以使事情变得更简单，试想古罗马人是怎样打那些重大战役的。罗马战争包含很多较小的战场，战争双方都收到来自不同方向的谣言和误传，将战事弄得混乱不堪。由于战斗在几个前沿地带猛烈地进行，罗马将领经常是盲目指挥。罗马人通常是因为野蛮力量而取得胜利，并非优雅的战略。这就是为什么战争的首要原则之一是占领高地——上到第三维度审视二维战场。从一个大山的有利位置观察全景战场，战争的混乱程度骤然降低。换句话说，从第三维度看（即从山顶看），众多较小的混乱战场将集成一个连贯的单一画面。

这个原理——自然规律在高维中表达将变得更简单——的另一个应用，是爱因斯坦狭义相对论背后的中心思想。爱因斯坦揭示了时间是第四维，他表明了空间和时间可以方便地在四维中统一起来。这反过来又不可避免地导致用空间和时间测量的所有物理量（如质量和能量）的统一。他还找到了质量和能量统一的精确的数学表达式：$E = mc2$。也许，这是所有科学方程中最著名的质能公式。（高维理论绝不仅是一个学术理论，因为爱因斯坦理论最简单的结果是原子弹，它改变了人类的命运。在这个意义上，高维理论的引进是人类历史上最关键的科学发现。）

为了欣赏这种统一的巨大力量，现在我们来描述这四种基本力。强调它们如何不同，如何在高维中给出这四种力的统一表述。在过去2000年间，科学家们发现宇宙中的所有现象可以化归为四种力，它们从一开始就彼此互不相似。

电磁力

电磁力以多种形式存在，包括电、磁和光本身。电磁力照亮了我们的城市，可使收音机和音响播出的音乐填满整个空间，可让我们看电视，可用电器减轻家务劳动，可用微波炉加热我们的食物，可用雷达跟踪飞机和空间探测器，可使我们的发电厂电气化。最近，电磁力已被用于电子计算机（这使办公室、家庭、学校、军队大为改观）和激光（这对于通信、外科手术、光盘、五角大楼高级武器系统，甚至杂货店的收银台都具有重大意义）。在某种意义上，整个地球超过半数的国民生产

总值（它代表着人类积累的财富）都依赖于电磁力。

强核力

强核力为恒星燃烧提供能量。它使群星闪耀，创造出灿烂的、给予生命的阳光。如果这个强大的力量突然消失，太阳会变暗，地球上的所有生命将终结。事实上，一些科学家认为恐龙是在6500万年前灭绝的，那时彗星撞击的碎片进入了地球的大气层，让大地昏暗，整个行星的温度暴跌。具有讽刺意味的是，强核力也可以在一天之内收回它曾经赠与的那些生命。如果不限制氢弹爆炸，强核力将有可能在一天之内结束地球上的所有生命。

弱核力

弱核力支配某些形式的放射性衰变。因为放射性物质在衰变或破裂时会放出热量，弱核力有助于加热地球内部深层的放射性岩石。这个热量反过来又驱动火山，造成罕见但强大的熔岩爆发到达地球表面。弱核力和电磁力也常被用来治疗严重的疾病：放射性碘被用来杀死甲状腺肿瘤与医治某种形式的癌症。放射性衰变也可以是致命的：它造成了三英里岛和切尔诺贝利的大破坏；它还产生了放射性废物（核武器生产和商业核电厂产生的不可避免的副产品），这些废料有可能会持续保持危害性长达几百万年时间。

引力

引力使地球和行星保持在它们的轨道上运动，引力也约束了银河系的平衡。如果没有地球的引力，地球的自转将使我们像布娃娃一样被抛进太空。我们用以呼吸的空气也会很快弥散到太空中去，从而使我们窒息，使地球上的生命不复存在。如果没有太阳的引力，所有的行星（包括地球）将被抛出太阳系进入寒冷的深层太空，在那里，微弱的阳光将无法支持生物的生命。事实上，没有引力，太阳自身也会发生爆炸。太阳是引力（它倾向于收缩太阳）和核力（它倾向于胀开太阳）微妙平衡的结果。没有引力，太阳将会像千万亿颗氢弹爆炸那样轰然爆裂。

当前理论物理学面临的挑战是将这四种力统一为一个单一力。从爱因斯坦开始，20世纪的许多物理学巨人就试图找到这种统一的力，但都没有成功。然而，困扰了爱因斯坦生命最后30年的问题的答案也许就在超空间。



统一问题

爱因斯坦曾说，“自然只让我们看到狮子的尾巴。但我从未怀疑狮子和狮尾是一体的，尽管狮子太大我们看不到它”。如果爱因斯坦是正确的，那么也许这四种力就是狮子的尾巴，而狮子就是高维时空。这一理念已燃起希望，摆满图书馆书架的密密麻麻的有着丰富图表的图书所描述的宇宙的物理定律也许某天可以由一个简单的方程来描述。

这个有关宇宙的革命性观点的中心是——高维几何也许是宇宙统一的最终源泉。简言之，宇宙中的物质和将它们聚在一起的力，以一种使人困惑不解和变化无穷的复杂形式出现，但它们也许只是超空间上的不同振动而已。然而，这个概念不同于科学家的传统思维，他们将空间和时间视为一个被动的舞台，星星和原子是这个舞台上的主角。对这些科学家来说，可见的物质宇宙比起不可见的时空宇宙来说更加丰富且多样化。从历史的角度看，粒子物理方面几乎所有的科学努力以及大量的政府基金都被投入到了“夸克”、“胶子”这样的亚原子粒子研究上。而不是彻底理解时空的几何性质。现在，科学家们正逐渐认识到，时间和空间这个“无用的”概念也许是大自然之美与简单性的最终源头。

高维空间的第一个理论被称为卡鲁扎-克莱因（kaluza-klein）理论。这个理论以两位科学家的名字而命名。他们提出了一种新的引力理论，将引力解释为第五维度的振动。我们如果将这个理论扩展到N维空间（N可以代表任何数），这个看似笨拙的亚原子粒子理论将戏剧性地呈现出惊人的对称性。然而，老卡鲁扎-克莱因理论不能确定N的正确值，在描述亚原子粒子时也存在许多技术问题。基于这个理论还有一个更为先进的版本称为超引力理论，但它依然存在问题。近来，对这个理论的兴趣是1984年由米迦勒·格林（Michael Green）和马蒂亚斯·舒瓦茨（John Schwarz）引发的。他们给出了卡鲁扎-克莱因理论最先进的版本，即超弦理论的一致性。这个理论假定所有物质都是由微小的振动弦组成。令人惊讶的是，超弦理论精确地预测了时间和空间的维度：十维。［弗罗因德被问及我们何时可以看见这些高维空间时，他报以一笑。我们看不到这些高维空间，因为它们卷成的小球是如此之小，以至于检测不到。根据卡鲁扎-克莱因理论，这些卷曲的维度的尺寸叫做普兰克长度[2]。相当于质子的万亿亿分之一，它太小了以至于我们用最大的原子加速器也无法探测。高能物理学家曾指望造价110亿美元的超导超级碰撞机（SSC）能间接揭示超空间的某些线索。但SSC于1993年10月被美国国会否决了。］

十维空间的优势在于我们拥有足够的空间以容纳所有四种基本力。

此外，我们有一个简单的物理绘景来解释由大型原子加速器产生的亚原子粒子的杂乱的混合物。过去30年中，物理学家分类研究了通过粉碎质子、电子、原子产生的碎片中的几百种亚原子粒子。像昆虫收藏家耐心地给一大批昆虫命名一样，物理学家有时被这些亚原子粒子的多样性和复杂性压得喘不过气来。今天，这个扑朔迷离的收集亚原子粒子的工作可以用超空间理论的纯粹振动来解释。



穿越时空

超空间理论也重新打开了“超空间是否可以用于穿越时空旅行”的问题。要理解这个概念，想象生活在一个大苹果上的小的扁平的扁虫。对扁虫而言，它们认为苹果的世界显然与它们一样是一个扁平的二维世界。然而，有一个叫哥伦布的扁虫被一种说法迷住了——苹果世界在某种方式上是有限的、弯曲的、三维的。然而，它的朋友称它为傻瓜，嘲笑它相信苹果世界竟会在看不见摸不着的某个三维中弯曲。一天，哥伦布踏上漫长而艰苦的旅程，消失在地平线上。最终他回到起点，他的旅程证明苹果世界存在于一个更高的不可见的维度，第三维度是弯曲的。虽然旅行使它疲倦，哥伦布还是发现了在苹果上彼此远离的两点之间旅行还有另外一种方法：通过在苹果上挖洞，挖出一条隧道，创造一条捷径通往遥远的地方。这条捷径大大减少了长途旅行的时间和身体疲惫，它称这条隧道为虫洞。这条隧道证明了两点之间最短的路径不一定是别人告诉它的直线，而是一个虫洞。

哥伦布发现了一个奇怪的效应，当他进入某条隧道并从另一端出口出去时，他发现自己回到了过去。显然，这些虫洞连接着苹果上的不同地方，而这些不同地方的时间有着不同的节拍。一些虫子甚至声称这些虫洞可以被塑造成一个可行的时间机器。

后来，哥伦布又做出了一项更加重要的发现——它发现的苹果世界其实并非宇宙中的唯一，它只是一个大苹果园中的一个苹果。哥伦布发现这个苹果与大苹果园中成百上千的苹果共存。有些苹果上有像它们一样的扁虫，有些苹果上没有。他猜想，在某些罕见的情况下，这些扁虫甚至可以在果园中不同的苹果之间旅行。

我们人类就像那些扁虫。常识告诉我们，我们的世界与它们的苹果一样，是平坦的三维世界。无论我们跟随我们的宇宙飞船走到哪里，宇宙似乎总是平坦的。然而，事实上，我们的宇宙像苹果世界一样，在一个超出我们对空间理解的看不见的维度上是弯曲的。这个事实已被一些严格的实验验证了。科学家对光的路径进行的实验，证明了星光穿过宇宙时是弯曲的。



多连通宇宙

早晨，当我们醒来打开窗户让新鲜空气进来时，我们期待看到前面的院子。我们并不希望打开窗户后，面对巍峨的埃及金字塔。同样，当我们打开前门时，我们期待看到街道上的汽车，而不是火山口和死火山那种荒凉的月球景观。甚至不必考虑，我们就假定我们能安全地打开窗户和门，不会被吓得灵魂出窍。幸运的是，我们的世界不是史蒂文·斯皮尔伯格（Steven Spielberg）的电影。我们有一个根深蒂固的偏见（这个偏见总是正确的）——我们的世界是单连通的（简单连接的），我们的窗户和门都并非是连接我们的家和另一个遥远宇宙的虫洞入口。（在普通的空间中，一根绳子的套索可以收缩成一点。如果套索可以收缩成一点，我们则说该空间是单连通的。然而，如果将套索放在虫洞的入口周围，它无法收缩成某一点。事实上，这个套索进入了虫洞。这种套索不能收缩的空间，我们说它是多连通的。虽然，我们的宇宙在不可见的维度中弯曲已通过实验测量，但虫洞的存在和我们的宇宙是否是多连通的仍是当今科学界长期争论的话题。）

在乔治·波恩哈德·黎曼（George Bernhard Riemann）那个时代的数学家研究了多连通空间的性质。在这个空间中不同区域的空间和时间是拼接在一起的。物理学家曾以为这仅是一个智力练习，现在，他们正在把多连通世界作为我们宇宙的实际模型而加以研究。这些模型是爱丽丝镜子的科学模拟。当刘易斯·卡罗尔的白兔掉进兔子洞而进入仙境时，它实际上是掉进了一个虫洞。

虫洞可以用两个平行平面来解释。取两张纸和一把剪刀，我们在每张纸上剪一个洞，然后用一根长管连接两个孔（图1.1）。只要你避免走进虫洞，我们的世界就似乎是正常的，你在学校里学的通常的几何定律在这里都是成立的。然而，如果你落入了虫洞，你会瞬间被传送到空间和时间的不同区域。只有通过追溯你的脚步，撤离刚才掉进的虫洞，你才能回到之前熟悉的世界。

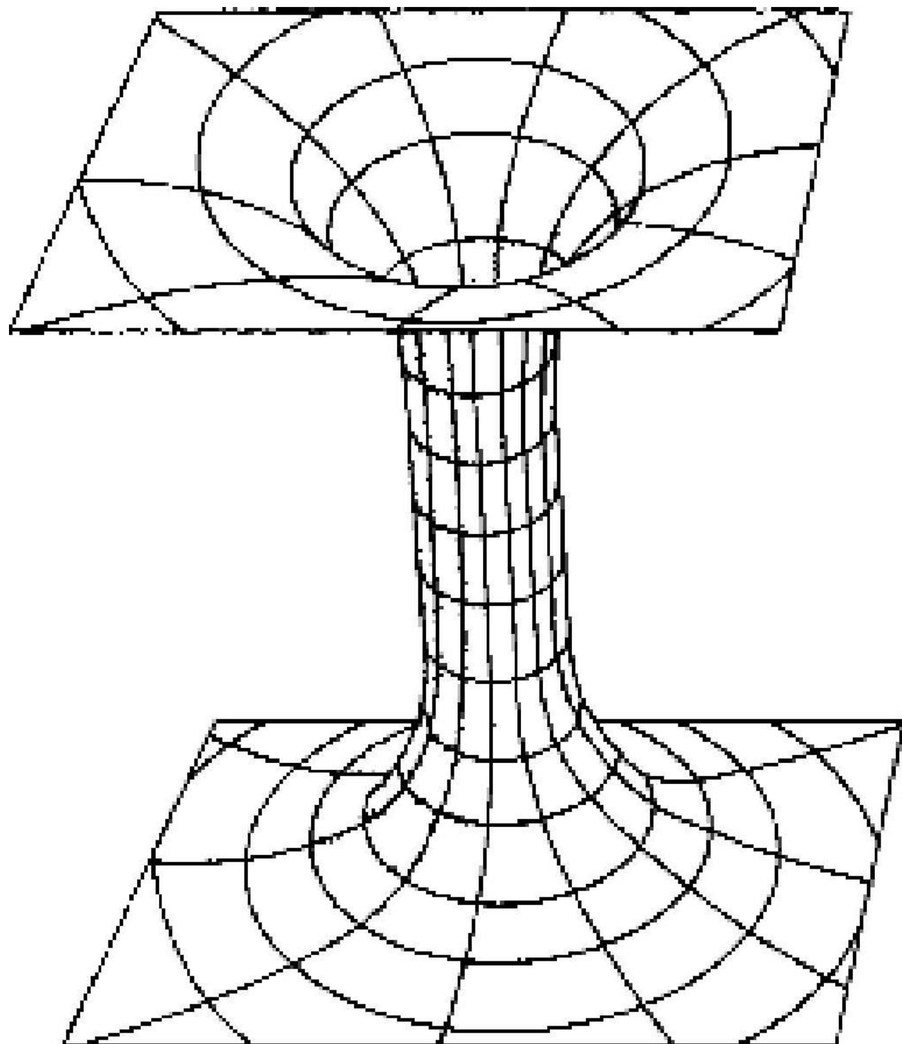


图1.1　平行宇宙可以用两个平行平面图形表达。通常情况下，它们从不互相接触。然而，有时虫洞或管道可以在它们之间打开，使它们之间的沟通和旅行成为可能。这也是当今理论物理学家极感兴趣的课题。



时间旅行与婴儿宇宙

虽然虫洞提供了一个迷人的研究领域，但在超空间（多维空间）的讨论中显露出来的最引人入胜的概念是——时间旅行。在电影《回到未来》中，米高·J．霍士（Michael J．Fox）的旅行回到过去，遇见了他的尚未结婚的年轻的父母。不幸的是，他的母亲爱上他后将他的父亲抛弃。这就提出了一个棘手的问题——如果他的父母从未结婚生子，他如何诞生。

传统上，科学家们对任何提出时间旅行问题的人都不抱很大希望。因果关系（有因才有果，而不是有果才有因）被牢牢地铭刻在现代科学基础中。然而，在虫洞物理中“非因果”效应反复显现。事实上，我们必须做出强有力的假设以防止时间旅行的发生。主要问题是，虫洞不仅可以连接空间中两个遥远的点，它还可以将过去和未来连接起来。

1988年，加州理工大学的物理学家基普·索恩（Kip Thorne）和他的合作者做出惊人的（也是冒险的）断言——时间旅行不仅是合理的，而且在一定条件下也是可行的。他们的断言并非发表在不起眼的“边缘”杂志上，而是在著名的《物理评论快报》上。这首次标志着著名的物理学家，而不是疯子，科学地提出一个关于改变时间本身进程的问题。他们的断言是基于简单的观察，一个虫洞连接两个有着不同时间周期的区域。因此虫洞可以连接现在和过去。因为穿越虫洞是瞬时的，所以人们可以用虫洞逆时退行到过去。然而，这不同于H．G．威尔斯（H．G．Wells）的《时间机器》一书中描绘的场景，主人公只要拨动一下表盘就可以被抛到几十万年后的英国的未来。因为虫洞的产生需要巨大的能量，甚至超出了在未来几个世纪技术上的可能。

虫洞物理的另一个奇怪的推论是在实验室中创造“婴儿宇宙”。当然，我们无法重新创造大爆炸和见证我们宇宙的诞生。然而，对宇宙学上做出了重要贡献的麻省理工学院的阿兰·古斯（Alan Guth）声称，虫洞物理可以使我们在实验室创造婴儿宇宙成为可能。他的见解震惊了许多物理学家。他提出，在一个密闭室内集中大量的热量和能量，虫洞最终可能被打通，这个虫洞可作为连接我们的宇宙与另一个极小宇宙的脐带。如果可能的话，它会给科学家带来前所未有的宇宙观，因为它是在实验室里创造的。



神秘主义和超空间

这些概念中有些并不是新的。在过去的几个世纪，神秘主义者和哲学家纷纷猜测存在其他宇宙和它们之间的隧道。他们长期以来一直沉迷于可能存在的其他世界，这些世界听不见、看不着，却与我们的宇宙共存。他们被那些可能存在而未探知的冥冥世界所吸引。这些世界甚至可能近在咫尺，事实上包围着我们并渗透到我们所到之处，只是它们正好超出了我们的物理理解力，避开了我们的直观感觉。不过，这样的没有根据的议论是无用的。因为没有实际的方法可以对这些思想列出正确的数学表达，这些思想也不能通过实验得到验证。

我们的宇宙和其他维度之间的通道（虫洞）也是一个讨人喜欢的文学题材。科幻作家发现高维是星际旅行必不可少的媒介。因为在天上，星星之间的距离非常大，科幻作家便将高维作为星星之间联系的一个巧妙的捷径。火箭不需要走漫长的路程到达其他星系，仅需在超空间中由围绕它的时空弯曲实现加速后到达。例如，在电影《星际大战》中，超空间是一个避难所，天行者卢克在那里可以安全地逃避帝国战舰。在电视连续剧《星际迷航：深空九号》中，一个遥远的空间站附近的虫洞打开了。这使得在几秒之内穿越巨大距离的银河系成为可能。空间站突然变成了激烈的竞争中心，谁能控制住这里，谁就能掌握银河系中通往其他地区枢纽的关键环节。

10年前，美国一批军用鱼雷轰炸机第19飞行大队在加勒比地区消失。神秘小说作家也用高维空间作为揭开百慕大三角区（或魔鬼三角区）之谜的便捷的工具。有人推测，在百慕大三角区消失的飞机和船只实际上进入了通往另一个世界的某种类型的通道。

这些难以捉摸的平行世界的存在也产生了无休止的长达几个世纪的宗教推测。唯心论者在想，离去亲人的灵魂是否进入了另一个维度。17世纪英国哲学家亨利·莫尔（Henry More）认为鬼和灵魂确实存在，并声称他们居住在第四维度。1671年他在《玄学手册》中主张，存在一个超出了我们感官的虚空境界，它是幽灵和灵魂的家园。

19纪的神学家困惑于找不到天堂和地狱，心想是否能在更高的维度中找到它们。一些人提出一个由三个平行平面组成的宇宙：地球、天堂和地狱。根据神学家亚瑟·威林克（Arthur Willink）的说法，上帝本人的家是在离这三个平面最遥远的地方，他生活在无限维中。

1870—1920年，人们对高维空间的兴趣达到顶峰。那时“四维”（一

个不同于我们知道的时间第四维）抓住了公众的想象力，并逐步渗透到艺术和科学的每一个分支，成为陌生和神秘的隐喻。第四维度在奥斯卡·王尔德（Oscar Wilde）、费奥多尔·陀思妥耶夫斯基（Fyodor Dostoyevsky）、马塞尔·普鲁斯特（Marcel Proust）、H．G．威尔斯（H．G．Wells）、约瑟夫·康拉德（Joseph Conrad）的文学作品中出现了。第四维度还启发了亚力山大·斯克里亚宾（Alexander Scriabin）、乔治·安塞尔（George Antheil）的音乐作品。第四维度迷住了心理学家威廉·杰姆斯（William James），文学家格特鲁德·斯坦（Gertrude Stein）和社会主义革命家弗拉基米尔·列宁（Vladimir Lenin）那种多样化的性格。

第四维度也启发了巴勃罗·毕加索（Pablo Picasso）和马塞尔·杜尚（Marcel Duchamp）的作品，极大地影响了立体派和表现主义的发展，这是两个在20世纪最具影响力的艺术运动。艺术历史学家琳达·达尔林普尔·亨德森（Linda Dalrymple Henderson）写道，“像黑洞一样，‘第四维度’具有神秘的特质，即使科学家自己也不完全理解。然而，它的影响却比黑洞或任何其他最近的科学假说更加广泛（1919年的相对论除外）。”

这种否定每一个常识性公理，符合逻辑而又奇异的另一种形式的几何学，同样久久地引起了数学家们的好奇心。例如，在牛津大学任教的数学家查尔斯·道奇森（Charles L．Dodgson）以路易斯·卡罗尔（Lewis Carroll）为笔名写书并传播知识为学生们带去快乐。他常将奇怪的数学思想写进他的书中。当爱丽丝掉进兔子洞或踏进瞭望镜时，她进入了奇境，一个奇怪的柴郡猫消失的地方（只留下了微笑）；神奇的蘑菇将孩子们变成了巨人，疯子哈特斯庆祝“未出生日”；瞭望镜以某种方式把爱丽丝的世界与一个陌生的地方连接起来，在那里，人们用谜语交流，常识也不再成其为常识了。

路易斯·卡罗尔的一些灵感极有可能来自19世纪伟大的德国数学家乔治·波恩哈德·黎曼（George Bernhard Riemann）。黎曼是第一个为高维空间奠定几何数学基础的数学家。黎曼改变了下一个世纪数学研究的航向，他证明了宇宙虽然从表面上看很奇怪，但却是完全自我一致的，服从它们自己的内在逻辑。为了阐明这类思想，请设想摞在一起的很多张纸，它们一张压在另一张的上面。现在想象每张纸代表一个世界，每个世界服从它自己的物理定律，不同于其他世界。这样，我们的宇宙就不是孤独的，而是许多可能的平行世界中的一个。智能生物可能居住在某个平面上，完全不知道其他世界的存在。在一张纸上可能会有爱丽丝的田园般的英国乡村。在另一张纸上可能是一个奇怪的世界，住着奇境世界中的神秘生物。

通常，每个平行平面上的生命都是独立于其他平面的。然而，在罕见的情况下，这些平面也会相交，片刻间撕裂空间本身的织物，打开这两个宇宙之间的洞或通道。像在《星际迷航：深空九号》中出现的虫洞，这些通道使这些世界之间的旅行成为可能，像一个宇宙桥连接两个

不同宇宙或同一宇宙的两点（图1.2）。毫不奇怪，卡罗尔发现儿童相比成人，可以更开放地接受不同观点存在的可能性。成年人对空间和逻辑的偏见则日益僵化。事实上，黎曼的更高维度的理论，正如卡罗尔解释的，已经成为儿童文学和民间传说的一个永恒的一部分。几十年来，还诞生了其他的儿童经典，如多萝西的《绿野仙踪》和潘裕文的《从来没有土地》。

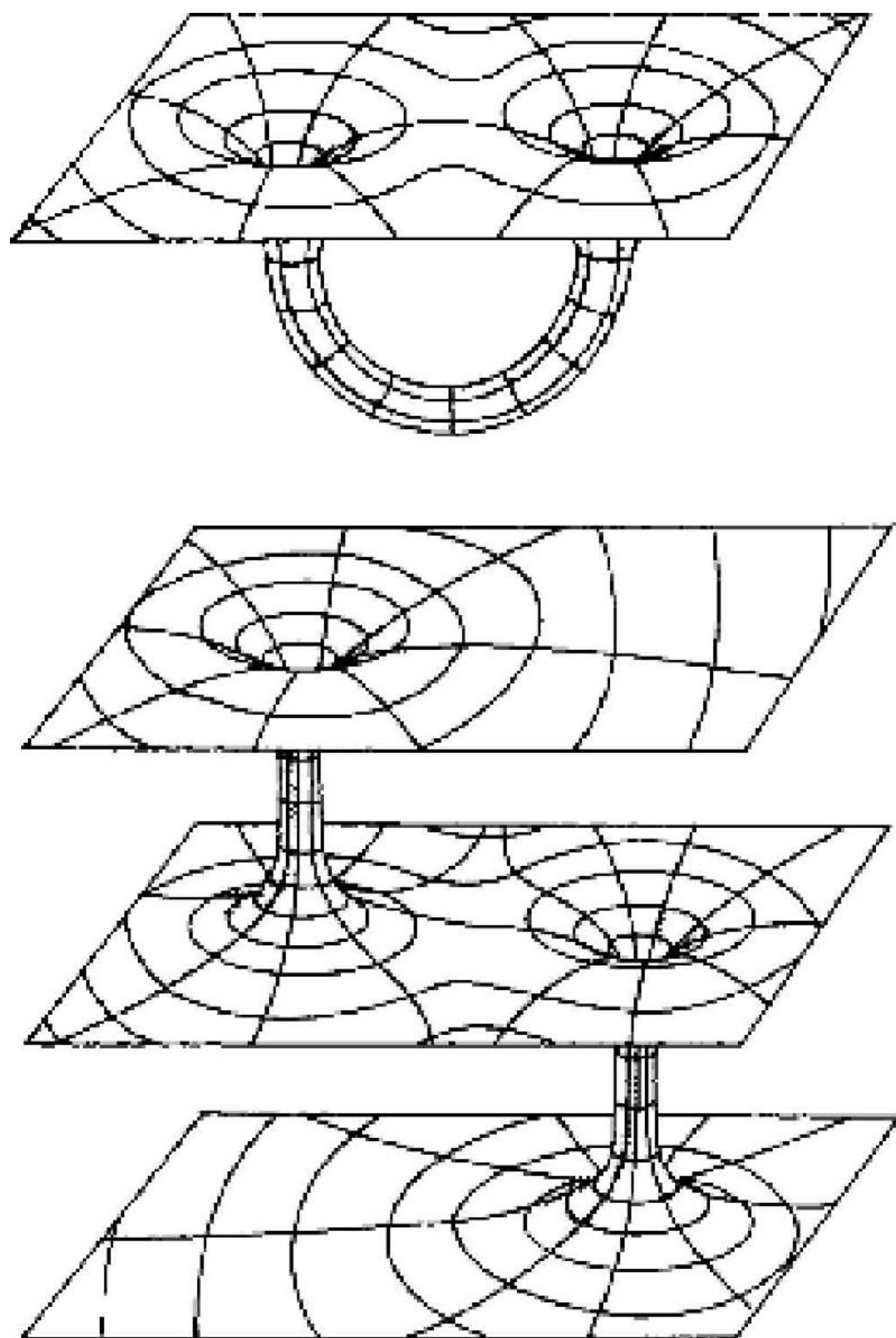


图1.2　虫洞可以将宇宙和自己连接起来，可能提供了一种星际旅行的方式。因为虫洞可以连接两个不同的时间纪元，因此也提供了一种时间旅行的方式。虫洞还可以连接无限系列的平行宇宙。我们希望，超空间理论能够确定虫洞的存在只是物理上的可能，还是数学上的奇想。

然而，由于缺乏实验证据或引人注目的物理动机，因此平行世界的理论作为科学的一个分支失去了活力。2000多年来，科学家偶尔捡起更高维度的概念，结果却因为不可测被认为是愚蠢的想法而抛弃。虽然黎

曼的高等几何理论在数学上很有趣，但却被人们认为技巧性太强缺乏实际用处而不被人们重视。在高维理论上甘愿以他们的声誉冒险的科学家发现，自己正被科学界嘲笑。高维空间变为了神秘主义者、思想怪诞者和江湖术士们的避难所。

在本书中，我们将会研究这些早期开拓者的工作。主要是因为他们设计了一种巧妙的方法，使非专业人士可以“可视化”更高维度的物体的样子。这些技巧将被证明是有用的，让公众可以更好地掌握这些高维理论。

通过研究这些早期的神秘主义者的工作，我们也能更清楚地看到他们的研究的缺陷。我们看到他们的推测缺乏两个重要概念：物理和数学原理。从现代物理的视角，我们认识到他们丢失的物理原理是——超空间简化了自然定律，超空间提供了仅靠纯粹的几何论证就能统一所有自然力的可能性。他们丢失的数学原理是——场论，它是理论物理学中普遍使用的数学语言。



场论：物理学的语言

场的概念最先是由伟大的19世纪英国科学家迈克尔·法拉第（Michael Faraday）引进的。法拉第是一个穷铁匠的儿子，他是一位自学的天才，他设计了精心的电力和磁性的实验。他将“力线”直观化（像植物展开的长藤），“力线”从磁和电荷发射到四面八方并充满所有的空间。他在他的实验室中，用他的仪器可以测量任何一点的磁力或电荷的力线的强度。因此他可以在这一点（和空间中的任何点）指定一系列数表示力的大小和方向。他把空间任何点的这些数字的总和作为一个单一的实体——一个场。［这里，有一个著名的关于迈克尔·法拉第的故事。由于法拉第的名声远扬，经常有好奇的旁观者去拜访他。当人们问他的工作有什么用时，他会回答：“孩子有什么用？那就是他能长大成人。”有一天，当时的财政大臣威廉·格拉斯顿（William Gladstone）参观了法拉第的实验室。格拉斯顿对科学一无所知，他讽刺地问法拉第在他的实验室里的这些巨大的电气装置对英国有什么用。法拉第回答：“先生，我不知道这些机器将作何用，但我可以肯定有朝一日你能通过它们征税。”今天，英国总财富的大部分都要归功于法拉第的劳动成果。］

简单地说，一个场是空间每一点上完全描述了在那个点上的力的数据的集合。例如，在空间的每个点上的3个数字可以描述磁力线的强度和方向。空间每一点的另外3个数字可以描述电场。法拉第在思考农民耕种土地时得到场这个概念。农民的土地占有二维空间区域。在农民土地的每一点可以指定一系列的数字（例如，描述在那一点上有多少种子）。然而，法拉第的场占据空间的三维区域。在每一点上，都有一系列的6个数字描述力的磁力线和电力线。

法拉第的场的概念有如此强大的威力，是因为自然的所有的力都能表述为场的形式。不过，在我们能够理解这些力的本质之前，我们还需要一个要素——我们必须建立这些场所遵守的方程。过去几百年理论物理的进展可以简洁地概括为“寻找自然力的场方程”。

例如，19世纪60年代的苏格兰物理学家詹姆斯·克拉克·麦克斯韦（James Clerk Maxwell）写下了电场和磁场的方程。在1915年，爱因斯坦发现了引力的场方程。经过无数次错误的尝试后，在20世纪70年代，通过杨振宁（C．N．Yang）和他的学生R．L．米尔斯（R．L．Mills）的早期工作，亚原子力的场方程最终被建立。这些控制亚原子粒子相互作用的场方程现在称为杨-米尔斯（Yang-Mills）场。然而，使这个世纪物理学家困惑的是亚原子力的场为什么与爱因斯坦的场方程截然不同，即为什么核力与引力差别如此之大。一些物理学中的伟人一直致

力于解决这个问题，但都未获得成功。

也许他们失败的原因是落入了常识的俗套。如果仅局限在三维或四维，亚原子世界的引力的场方程就很难统一。超空间的优点在于：杨-米尔斯场、麦克斯韦场、爱因斯坦场，都可以舒适地放置在超空间场中。我们看到，这些场在超空间中，非常合理地结合在一起，就像拼图一样。场论的另一个优势是，它允许我们精确地计算“空间和时间形成虫洞所需的能量”。因此，与古人不同，我们有了数学工具来指导自己建造机器。也许有一天，我们能通过这些机器，弯曲空间和时间并实现我们的幻想。



创世的秘密

这是否意味着捕猎大型野兽的猎人现在可以开始筹备去中生代猎杀大恐龙并展开狩猎之旅了？不，索恩、古思和弗罗因德会告诉你，调查这些太空中的异常所需的能量远超出了地球上的任何能量。弗罗因德提醒我们，探测第十维度所需的能量是我们的最大的原子加速器所产生的能量的1000万亿倍。

将时空弯曲成结所需的能量非常大，大到在今后几百年甚至几千年我们也无法获得。即便世界上所有的国家都团结起来，建设一个可以探测超空间的机器，最终的结果也是失败。并且，正如古思指出的，在实验室创建一个婴儿宇宙需要的温度是1×10^{27}摄氏度，远远超过我们能提供的温度。事实上，这个温度甚至高于任何恒星内能中的温度。因此，虽然爱因斯坦定律和量子论定律有可能允许时间旅行，但这难以在我们地球人的能力范围内实现。我们现有的能力只允许我们可以勉强逃脱我们星球的微弱引力场。我们对虫洞研究的含意大为惊讶的同时，也体会到虫洞的潜力只能为更先进的外星文明所利用。

只有一个时间周期实际具有这样巨大的能量规模，那就是在创世的瞬间。事实上，超空间理论不能用我们最大的原子加速器测试，因为这个理论实际上是创世理论。只有在宇宙大爆炸的瞬间可以看到超空间理论在发挥作用。这就提出了一个激动人心的可能性，超空间理论可以解开宇宙起源的秘密。

引入更高的维度可能是撬开创世秘密必不可少的钥匙。根据这个理论，在大爆炸之前，我们的宇宙是一个完美的十维宇宙，一个可能实现超时空旅行的宇宙。然而，这个十维度宇宙是不稳定的，它最终“破解”为两个宇宙，创建了两个分离的宇宙：一个四维宇宙和一个六维宇宙。我们生活的宇宙即是在这次宇宙灾难中诞生的。我们的四维宇宙爆炸式膨胀，而孪生的六维宇宙剧烈收缩，直到它收缩到无穷小。这也许解释了大爆炸的起源。如果这是正确的，这个理论则说明宇宙的迅速膨胀只是一个更大的宇宙灾难性事件的一个很小的余震，在这个大灾难中空间和时间本身裂开了。于是，驱使可观测到的宇宙膨胀的能量，正是存在于十维空间和时间的坍缩之中。根据这个理论，遥远的恒星和星系便以天文数字般的速度远离我们而去（因为十维空间和时间的坍缩）。

这个理论预言，我们的宇宙有一个矮人双胞胎，一个伴宇宙。它卷曲成一个六维的小球，其尺寸太小，我们无法观察。这个六维度的宇宙并非是我们世界无用的附属物，它最终极可能成为我们的救赎。



逃避宇宙的死亡

人们常说，人类社会唯一不变的就是死亡和税收。对于宇宙学家，唯一可以确定的是宇宙终有一天会死亡。一些人认为宇宙的最终死亡会以大坍缩的形式到来。引力会逆转大爆炸产生的宇宙膨胀，并将恒星和星系再次拉回到一起，成为一个原始的质量。随着恒星的收缩，宇宙中的温度将急剧上升，直到宇宙中所有的物质和能量集中陷入一个巨大的火球，并将我们所认知的宇宙摧毁。所有的生命形式都将被毁灭，不会存在任何侥幸者。像查尔斯·达尔文（Charles Darwin）和伯特兰·罗素（Bertrand Russell）那样的科学家和哲学家也悲哀地写道，“我们可怜的努力都是徒劳，因为我们的文明在世界末日时终将无情地死亡。”物理规律显然已向宇宙中所有的智慧生命发布了最终的、不可撤销的死亡令。

据已故哥伦比亚大学物理学家杰拉尔德·费因伯格（Gerald Feinberg）的说法，有且只有一个逃避最终灾难的希望。他推测，几十亿年后智慧生命最终能掌握高维空间的奥秘，将使用其他维度作为一个逃生舱口逃出危机。在我们的宇宙崩溃的最后时刻，我们的姐妹宇宙将再次开放，超空间旅行将成为可能。因为在世界末日到来之前的最后时刻，所有的物质都被粉碎，所有的智慧生命形式都可以通过隧道进入高维空间或另一个宇宙，避免看似不可避免的我们的宇宙的死亡。然后，在高维空间这个避难所这些智慧生命也许能够见证崩溃的宇宙陷入一片火海。当我们的宇宙家园被粉碎得面目全非时，气温将剧烈上升创建另一次大爆炸。这些智慧生命在多维空间的有利位置，将能在前排座位上看到罕见的科学现象，看到另一个宇宙和他们的新家的诞生。



超空间的主人

场论表明，要创造这些奇妙的空间和时间弯曲所需要的能量远超现代文明能掌握的一切。这也引出了两个重要的问题：其一，我们的知识和能力正在以指数的形式增长，我们的文明要何时才能达到掌握超空间理论的地步？其二，在宇宙中的其他智慧生命又是什么样的，他们是否已经达到了可以利用超空间理论的地步？

这个讨论使人感兴趣的原因是那些严肃的科学家们试图对未来的文明进程作出定量判断——到那时，空间旅行将变得司空见惯；邻近的恒星系统甚至星系也可能被人类殖民。虽然操控超空间所需要的能量是巨大的，但这些科学家指出，在未来几个世纪科学技术的增长可能会继续以指数形式上升，超过了人类的大脑理解它的能力。自第二次世界大战以来，科学总量大约每10—20年就翻一番，所以科学技术在21世纪的进展可能超越我们最大的期望。今天只能梦想的技术在未来世纪可能变得司空见惯。因此，我们可以讨论这个问题，我们何时能成为超空间的主人。

时间旅行、平行宇宙、多维窗口

这些概念本身就处在我们理解物质宇宙的前沿。然而，由于超空间理论是一个真正的场论，我们最终希望它能给出一种数量上的答案，来确定这些使人感兴趣的概念是否具有可能性。如果这个理论给出的答案是荒谬的，与物理学数据相违背，那么，无论它在数学形式上多么优雅也必须遭到我们的抛弃。最后的决定权在物理学家而不在哲学家。但是，如果超空间理论被证明是正确的，且解释了现代物理学的各种对称性，那么它将开创一场也许等同于哥白尼或牛顿式的革命。

为了对这些概念有一个直观的理解，我们需要从头开始讲述。在我们习惯十维之前，我们首先要学会如何操控四维空间。我们将利用历史的例子探讨几十年来科学家所做的巧妙的尝试，给出高维空间一个有形的视觉表现。因此，本书的第一部分将强调发现高维空间背后的历史，从开启它的数学家乔治·波恩哈德·黎曼（George Bernhard Riemann）开始。黎曼在预期下一个世纪科学的进步时，他首次说出：“自然在高维空间几何中可以找到它的天然归宿。”

2　数学家和神秘主义者

魔法是一种足够先进的技术。

——亚瑟·C．克拉克（Arthur C．Clarke）

1954年6月10日，一种新的几何学诞生了。

乔治·波恩哈德·黎曼引进了高维理论。他在德国哥廷根大学的著名的演讲中，面对大学的教师们对他的高维理论作了详细的解释。像打开一间发霉的、黑暗的房间，放入温暖的、灿烂的夏季阳光一样，黎曼的演讲一下子就娴熟地把高维空间的耀眼的性质展示在世人面前。

他非常重要的和异常优雅的论文《论几何基础的假说》颠覆了2000年来成功地战胜了怀疑论者所有攻击的经典希腊几何的支柱。旧的欧几里得几何所有的图像都是二维或三维的。这个理论轰然倒下，新的黎曼几何在它的废墟上崛起。黎曼革命对艺术和科学的未来产生了深远的影响。在他的演讲之后的30年间，“神秘的四维”在欧洲影响了艺术、哲学和文学的发展。在它演讲之后的60年，爱因斯坦利用四维黎曼几何解释宇宙的由来及其演化。在他演讲之后的130年，物理学家利用十维几何试图统一物理宇宙的所有定律。黎曼工作的核心是，他认识到在高维空间中物理法则将被简化，这正是本书的主题。



穷困中的辉煌

具有讽刺意味的是，黎曼一点也不像能在数学和物理学领域开创如此深刻和彻底革命的人。他非常害羞，几乎有点神经质，他遭受着经常性的精神衰弱带来的痛苦。他还得了两种伴生的疾病：贫穷和肺病（结核）。事实上，整个历史长河中，世界上的许多伟大科学家都遭受着这两种疾患的困扰。从他的性格和气质中看不出他作品中所表现出的惊人大胆、果断和非凡的自信。

黎曼1826年出生于德国汉诺威，他是一个贫穷的路德派牧师的儿子，在家里的六个孩子中他排行老二。他的父亲，曾在拿破仑战争中作战，作为一个乡村牧师挣扎着供养他的大家庭。正如传记作者E．T．贝尔（E．T．Bell）指出，“黎曼家的大多数孩子出现身体脆弱并夭亡是年轻时营养不良的结果，而并不是由于他们的耐力差。在孩子长大之前，他的母亲也死了。”

在很早的时候，黎曼就展示了他著名的特质：超凡的计算能力、个性胆怯，终身对公众场合演讲感到恐惧。他很害羞，总是被别的男孩当作笑柄，这使他进一步沉浸在他的私人的数学世界中。

他对自己的家庭高度忠诚。尽管自己健康状况不佳且伴有肺病，但他依然尽力为他的父母特别是他心爱的妹妹买礼物。为了取悦父亲，黎曼决心成为一名神学学生。他的目标是尽快拿到牧师的报酬，以资助他的家庭。（很难想象这样一个口吃的胆小的年轻人能够做激烈的、热情的演讲——反对罪恶、驱逐魔鬼。）

在高中，他努力学习《圣经》，但他的思想总会飘回到数学上。他甚至试图提出“创世纪”正确的数学证据。他学习进步很快，以至于他很快超越了他老师所掌握的知识。他的老师们很快发现，他们已跟不上这个男孩的节奏。最后，这个学校的校长给了黎曼一本厚重的书让他看，让他无暇做别的事情。这本书是阿德里安-玛丽·勒让德（Adrien-Marie Legendre）的《数论》，这是一本拥有859页的巨作，也是一本关于“数论”这一难题的世界最高级的著作。黎曼用了6天时间就把它读完了。

当校长问他“你读了多少了？”年轻的黎曼回答说，“这是一本奇妙的书，我已掌握了它。”这个校长并不相信年轻人的回答，几个月后，他问了黎曼这本书中的一个模糊的问题，黎曼做了完美的回答。[3]

黎曼的父亲每天为将食品放在餐桌上而挣扎，但他依然凑足了足够

的费用送他19岁的儿子去闻名的哥廷根大学上学。在这里，黎曼首次遇到被称为“数学王子”的卡尔·弗里德里希·高斯（Carl Friedrich Gauss）。高斯是人类历史上最伟大的科学家之一。即使今天，如果你要对历史上最伟大的数学家排名，阿基米德、艾萨克·牛顿、卡尔·高斯的名字将永无变化地出现。

然而，黎曼的一生遇到无数的挫折和艰难，总是被极大的困难和脆弱的健康所压倒。他的每一次胜利后都伴随着不幸与失败。例如，他的运气刚刚好转，开始在高斯手下学习，而一场大规模的革命就席卷德国。在非人道的状态下，受苦受难的工人阶级开始反对政府，全德国很多城市的工人拿起了武器。1848年早期的游行示威和起义鼓舞了另一位德国人卡尔·马克思（Karl Marx）写出了他的著作，深深地影响了后50年整个欧洲的革命运动。

随着整个德国陷入混乱，黎曼的研究被迫中断了。他被选中参加了学生军，在那里，他花费了令人生厌的16个小时保护了一位甚至比他还要胆小的人——国王，从而得到了一个值得怀疑的荣誉。当时国王正在柏林的王宫里害怕得发抖，企图躲过工人阶级的愤怒。



超越欧几里得几何

如同德国的革命，当时的数学界也正被一场强劲的革命之风席卷。吸引黎曼兴趣的是另一个权威的堡垒，欧几里得几何即将崩溃。欧几里得几何认为空间是三维的。此外，这个三维空间是“平的”（在平的空间中，最短距离是两点之间的直线距离；这忽略了空间是弯曲的可能性，如在球体上）。

事实上，欧几里得的《几何原本》（简称《原本》）可能是在《圣经》之后的所有时代最具影响力的书。2000年来，西方文明最敏锐的头脑都在惊叹它的优雅和它的几何之美。成千上万欧洲最好的教堂是根据它的原则建立的。回想起来，也许它太成功了。几个世纪以来，它成为了一种宗教，任何敢于提出弯曲空间或更高维度的人都将被视为疯子或异教徒。无数代的学童学习欧几里得的几何定理：圆的周长等于它的直径乘以π、一个三角形的内角之和为180度。然而，尽管尽了最大努力，几个世纪以来的最精妙的数学家头脑仍不能证明这些貌似简单的命题。事实上，欧洲的数学家们开始慢慢意识到，人们持续不变地敬仰了2300年的欧几里得的《原本》依然存在不完整的地方。如果人们只局限在平面内，欧几里得几何一定是可行的；但如果放眼到曲面世界，欧几里得几何就难以通行了。

对黎曼来说，欧几里得几何不足以表现世界的丰富多样性。在自然的世界中，没有地方能看到欧几里得理想的平面的几何图形。山脉、海洋波浪、云、漩涡，它们都是非完美的圆、三角形、矩形。它们都是无限多样性弯曲和扭曲的物体。

革命的时机成熟了，但谁会引导这个革命呢？用什么替换旧的几何呢？



黎曼几何的崛起

黎曼反叛表面上精确的希腊几何。他发现，这个几何的基础是建立在常识和直观感觉的移动的沙子上，而并非建立在坚固的逻辑基础上。

欧几里得认为，“显而易见的，点没有维度；线是一维的，即长度；面是二维的，即长度和宽度；固体是三维的，即长度、宽度和高度。到此为止，没有物体是四维的。”这些观点得到哲学家亚里士多德的附和，亚里士多德是第一个详细陈述不可能存在第四空间维的人。他在《论天》中写道，“线在一维有大小，平面在两维有大小，固体在三维有大小，此外没有其他的量，因为三就是一切。”此外，在公元150年，亚历山大的天文学家托勒密比亚里士多德走得更远，他在他的《论距离》一书中，给出第一个巧妙的“证据”认为第四维是不可能存在的。

托勒密说，首先画三条相互垂直的线。例如，立方体的角由三条相互垂直的线组成。然后，他争辩说，尝试画第四条线并垂直于其他三条线。他推理说，不管如何尝试也无法画出。托勒密声称，第四条垂直线是“无法测量且没有定义的”。因此第四维度是不可能的。

托勒密实际证明的是，用我们的三维大脑不能将第四维直观化。（事实上，我们今天知道，数学中的许多对象不能可视化，但它们依然可以得到证明是存在的。）托勒密可能会遗臭万年，他反对科学上两个伟大的思想：以太阳为中心的太阳系和第四维。

事实上，几个世纪以来一些数学家走了另外一条谴责第四维度的路。1685年，数学家约翰·沃利斯（John Wallis）反对这个概念，称它为“自然界的怪物”。他认为“第四维度比喀迈拉（狮头、羊身、蛇尾的吐火女怪）和桑托尔还不可思议……长度、宽度、高度占据了整个空间，超出这三维以外，无法想象还能有第四维。”几千年来，数学家们重复着这个简单且致命的错误——第四维度不能存在，因为在我们的脑海里它不可想象。



所有物理规律的统一

欧几里得几何的决定性的突破来自高斯要求他的学生黎曼准备“几何基础”的口头介绍。高斯对观察他的学生是否能提出欧几里得几何学以外的其他方案有着强烈的兴趣。（几十年前，高斯曾私下表示对欧几里得几何持有深刻而广泛的保留意见。他甚至对他的同事们讲到，可能存在生活在二维表面上的假想的“书虫”。他说要把这推广到高维空间的几何学中去。然而，高斯是一个非常保守的人，他从未公开发表过任何他的有关更高维度的作品，因为这将必然引起心胸狭隘的保守的老后卫们的愤怒。他嘲弄地称他们为“笨蛋”，一个智力低下的古希腊部落的名字。[4]）

然而，黎曼吓坏了。这个胆小的人害怕在公众面前讲话，他的导师要求他准备一个在全体教师面前的，有关本世纪最困难的数学问题的演讲。在接下来的几个月里，黎曼开始痛苦地建立更高维度的理论，这使他的身体健康退化到神经衰弱的地步。由于他令人沮丧的财务状况，他的体力进一步恶化了。他被迫接受低薪的家教工作以驰援他的家庭生活。此外，他还要分心试图解释物理问题。特别是，他还要帮助另一位教授威廉·韦伯（Wilhelm Weber）从事新的研究领域——有关电力的有趣的实验。

电力在古代就以闪电和电火花的形式为人们所知了，但在19世纪早期，这个现象成为了研究的焦点。特别是，一根通电导线经过指南针时能使后者发生偏转，这引发了物理学家界的注意。相反，垂直于磁场运动的金属棒会在导线中感生出电流。（这被称为法拉第定律，今天所有的发动机和变压器——大多数现代技术的基础——都以这个定律为基础。）

对黎曼来说，这个现象说明，电和磁是同一种力的不同表现形式。黎曼被这一发现所激动，他相信他能给出数学解释以统一电和磁。他每天都泡在韦伯的实验室里，相信新的数学将能为这些力给出新的解释。

黎曼要准备一次重要的关于“几何基础”的公众讲演，要支持他的家庭维持生活，要继续进行科学实验。这些沉重的负担压得他喘不过气来，1854年，他的健康最终崩溃了，他患上了神经衰弱症。后来，他写了一封信给他的父亲，“我被‘所有物理定律的统一的研究’深深吸引，因此当演讲的题目给我之时，我激动不已，不能离开我的研究。部分是由于焦急地考虑这些问题的结果，部分是由于在这个讨厌的天气中待在屋里的时间太多，我病倒了”。这封信是有意义的，因为它清楚地表明，即

使在生病的几个月里，黎曼依然坚定地相信，“他将发现‘所有物理定律的统一’，并用数学最终铺平统一的道路。”



力 = 几何

尽管经常生病，黎曼依然最终建立了一个惊人的关于“力”的含义的新描述。自牛顿之后，科学家将力看作是两个远距离的物体之间的瞬时作用。物理学家称其为远距作用，这意味着一个物体可以瞬间影响远距离物体的运动。牛顿力学毫无疑问能够描述行星的运动。然而，几个世纪以来，批评者认为远距作用是不自然的，因为它意味着一个物体甚至无需接触就能改变另一个物体的方向。

黎曼建立了一个全新的物理描述。像高斯的“书虫”一样，黎曼想象了生活在一张纸上的二维生物种族。他做出的决定性突破是，将这些书虫放在一张皱褶的纸上。[5]这些书虫会如何看待它们的世界呢？黎曼认为，它们的结论是它们的世界仍然是平的，因为它们的身体也皱褶了。这些书虫绝不会注意到它们的世界发生了扭曲。然而，黎曼指出，如果这些书虫试图在这些皱褶的纸上运动，它们会感到一个神秘的看不见的“力”阻止它们沿直线运动。每当它们走过纸上的一个皱褶，它们都会被推得左右晃动。

这样，黎曼做出了自牛顿200年历史以来的首次重大突破。他排除了超距作用原理。对黎曼而言，“力”是几何的结果。

接着，黎曼用在第四维中被弄皱褶的我们的三维世界来代替二维的纸。对我们来说，我们看不出我们的宇宙是弯曲的。然而，当我们试图走一条直线时，我们会立刻意识到有些事情出现了差错。我们像醉鬼一样行走，好像有一种看不见的力在拉拽我们，推得我们左摇右晃。

黎曼得出结论，电、磁和引力皆是我们的三维宇宙在看不见的第四维皱褶引起的。因此“力”本身并不存在，它只是几何变形引起的表观效果。黎曼通过引进第四空间维度，无意中发现了现代理论物理最重要的主题之一，即自然定律用更高维度去表达会更简单。

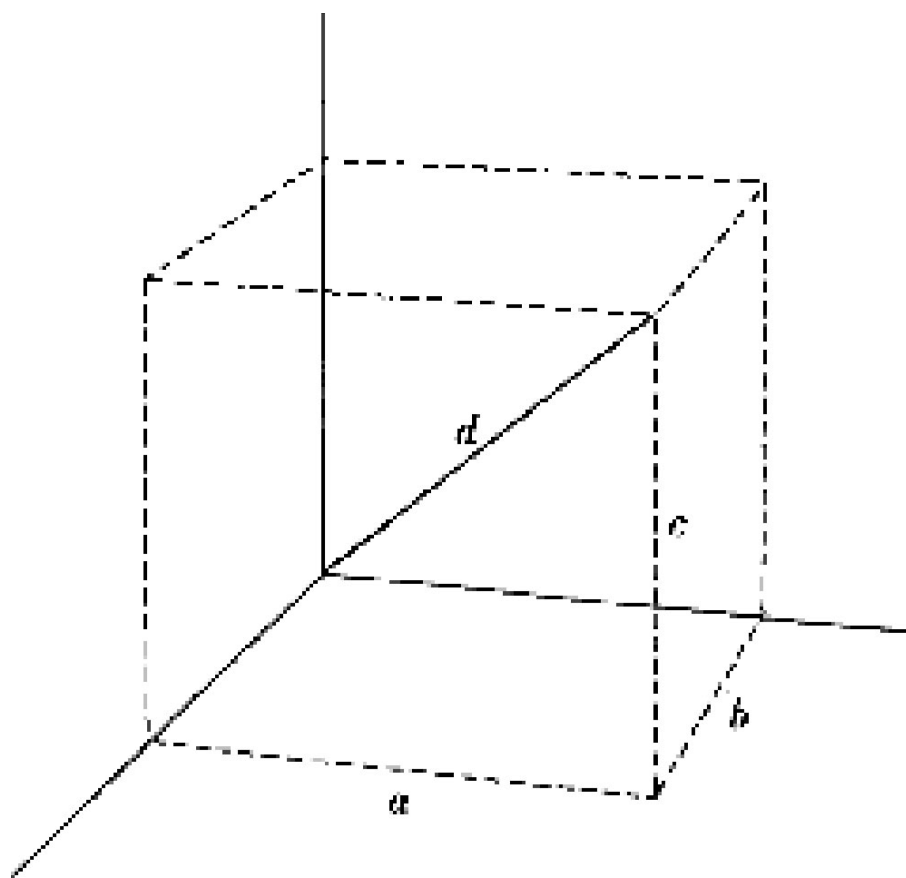


黎曼度规张量：新的毕达哥拉斯定理

黎曼花了几个月时间治愈了他的神经衰弱。所以，当他在1854年作口头报告时，有着非常好的反应。回顾起来，毫无疑问，这是数学史上最重要的公开演讲之一。黎曼突破了统治数学长达2000年的欧几里得几何学的演讲很快传遍了整个欧洲的所有研究中心，他对数学的贡献博得了整个理论界的称道。他的演讲被翻译为好几种语言，且在数学家中产生了相当大的轰动。没有什么地方需要回到欧几里得的工作。

像物理学和数学中最伟大的著作一样，黎曼伟大论文背后的基本内核很容易被人理解。黎曼从著名的毕达哥拉斯定理（勾股定理）出发，它是古希腊人在数学中最伟大的发现之一。这个定理建立了直角三角形三边长度的关系：直角三角形两条短边的长度的平方和等于最长斜边的长度的平方（即，如果a和b是两短边的长度，c是斜边的长度，那么$a^2 + b^2 = c^2$。）（当然，勾股定理是一切建筑的基础，地球上的每一座建筑物都以这个定理为基础。）

这个定理很容易推广到三维空间中。它指出立方体的三个相邻边长度的平方和与对角线长度的平方刚好相等。所以如果a、b、c分别表示一个立方体的三个边，而d是它的对角线的长度，那么$a^2 + b^2 + c^2 = d^2$（图2.1）。



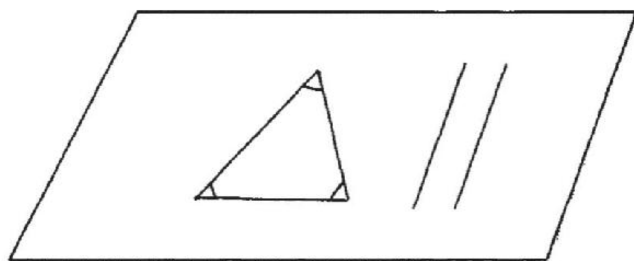
$$a^2+b^2+c^2=d^2$$

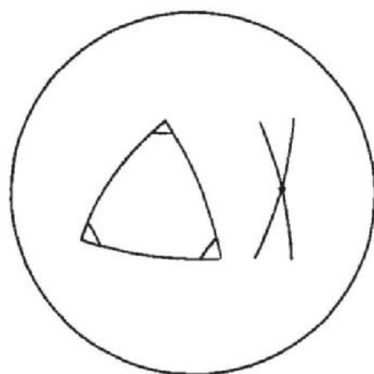
图2.1　一个立方体对角线的长度由三维毕达哥拉斯定理给出：$a^2 + b^2 + c^2 = d^2$。通过简单地添加更多项到毕达哥拉斯定理，这个方程很容易推广到N维超立方体的对角线。因此，尽管高维度无法直观化，但在数学上N维却很容易表示。

现在，将这个定理推广到N维也非常简单。想象有一个N维立方体。如果a、b、c、d、…分别为“超立方体”的边的长度，z是对角线的长度，那么$a^2 + b^2 + c^2 + d^2 + \ldots = z^2$。值得注意的是，尽管我们的大脑难以想象N维立方体的形状，但在数学上，我们可以轻松地写出N维立方体的边长的公式。（这是一个在超空间中工作的普遍特征。从数学的角度考虑，掌握N维空间并不比掌握三维空间更困难。令人惊奇的是，在一张平平的纸上，你能用数学语言描述一个我们的脑子不可形象化的高维物体的性质。）

黎曼然后将这些方程推广到任意维度的空间。这些空间可以是平的也可以是弯曲的。如果是平的，则欧几里得通常是适用的：两点之间直线最短、平行线永不相交、三角形内角之和为180度。但黎曼还发现，面可以具有“正曲率”，就像球体的表面。这些面上的平行线总会相交，而且，这些面上的三角形的三个内角之和可以超过180度。面也可以具

有“负曲率”，如马鞍形或喇叭形的表面。在这些表面中的三角形的内角之和小于180度。给定一条直线和直线外的一个点，通过这个点，人们可以画出无穷多的与这条直线平行的平行线（图2.2）。





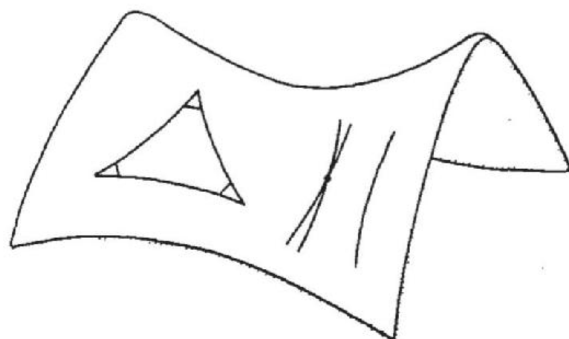


图2.2　一个平面有零曲率。在欧几里得几何中，一个三角形的内角和为180度，平行线从不相交。在非欧几里得几何中，球面具有正曲率。一个三角形的内角和大于180度，平行线总是相交（平行线包括中心为球心的弧线。这个规则排除了纬度线）。马鞍形表面具有负曲率，三角形三内角之和小于180度。过直线外的一点有可作无穷多条线与它相平行。

黎曼的目标是在数学中引入一个全新的对象，使他能够描述所有的表面，无论这个表面多么复杂。这必然促使他重新引进法拉第的场的概念。

我们记得，法拉第的场就像是一个农民的农场。我们认识的农场会占据二维空间的一个区域。法拉第的场则占据一个三维空间的区域。在这个空间中的任意一点，我们通过对其指定一个数字集合，就能描述这个点上的磁力或电力的数。黎曼的想法是为空间的每一点引进一个数字的集合，这组数将描述空间在这一点被弯曲的状态或曲率值的多少。

例如，对于一个普通的二维表面，黎曼在每一个点引进三个数字的集合，完全描述了这个表面的弯曲。黎曼发现，在四维空间，人们需要为每个点引进一组10个数的集合以描述其性质。无论空间如何皱褶或扭曲，在每个点的这10个数字的集合足以编码所有关于那个空间的信息。让我们把这10个数字标上符号g_{11}、g_{12}、g_{13}、…（分析四维空间时，下标可以从1到4变化。）这时，黎曼的10个数字的集合可以如图2.3那样对称性地安排。[6]（看上去似乎有16个分量。然而，$g_{12} = g_{21}$、$g_{13} = g_{31}$、…所以，实际上只有10个独立的分量）今天，这个数字集合称为黎曼度规张量。大约说来，度规张量的值越大，纸的皱褶越大。无论纸张多么皱，度规张量为我们提供了一种测量任何点曲率的简单方法。如果皱褶的纸完全展平，那么我们会回到毕达哥拉斯公式。

$$\begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} & g_{14} \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} & g_{24} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} & g_{34} \\ g_{41} & g_{42} & g_{43} & g_{44} \end{pmatrix}$$

图2.3　黎曼度规张量包含数学上描述*N*维弯曲空间所需要的所有信息。它用16个数描述四维空间每点的度规张量。这些数可以安排成方阵（这些数中的6个实际是多余的，因此这个度规张量有10个独立的数）。

黎曼的度规张量使他能够建立一个强有力的工具描述具有任何曲率的任何维度的空间。他惊奇地发现，所有这些空间都可以被明确定义且

具有自洽性。早先的人们认为，在研究被禁止的高维世界时，会出现可怕的矛盾。令黎曼惊奇的是，他没有发现任何矛盾。事实上，把黎曼的工作扩展到N维空间几乎轻而易举。度规张量很像棋盘上的方格，尺寸为$N \times N$。这在我们后面几章讨论所有力的统一时有着深刻的物理意义。

我们将看到，统一的秘密在于扩大黎曼度规到N维空间，然后切成一些矩形片。每个矩形片对应不同的力。用这种办法我们可以描述大自然中的各种力量，像智力拼图一样将它们放进度规张量。这是高维空间统一自然法则原理的数学表示，即在N维空间中有“足够的空间”统一它们。更确切地说，在黎曼度规中有足够的空间统一自然力。

黎曼预期了物理学的另一种发展，他是讨论多连通空间或虫洞的第一人。为了可视化这个概念，我们先拿出两张纸，把一张纸放在另一张纸的上面。用剪刀在每张纸上剪一个短的切口，然后将两张纸沿着切口粘在一起（图2.4）。（从拓扑学角度看，此图与图1.1是相同的，只是图2.4中虫洞颈部的长度为0而已。）

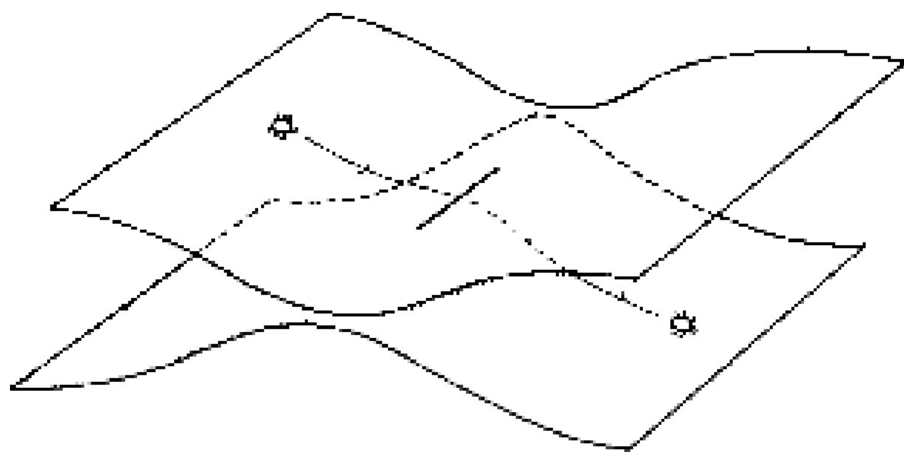


图2.4　黎曼切口，两张纸沿着一条线粘连在一起。如果绕着切口走，我们就一直停留在同一空间。如果穿过切口，我们将从一张纸进入到另一张纸。这是一个多连通表面。

如果一个虫子住在上面这张纸上，它也许某天不小心走进了切口，发现自己到了下面这张纸上。它会感到困惑，因为每件东西都在错误的地方。经过多次试验，这个虫子将发现，只要重新进入切口它可以重新回到它通常的世界中。如果它绕着切口走，那么它的世界看上去会非常正常；如果它试图取捷径通过切口，那就出现问题了。

黎曼切口是连接两个空间的虫洞的一个例子（只是这个虫洞的长度为0）。数学家路易斯·卡罗尔在他的书《爱丽丝镜中世界奇遇记》中极有效地利用了黎曼切口，连接英国与仙境的黎曼切口是镜子。今天，黎曼切口以两种形式被保存了下来。其一，它在世界上每一个数学研究生的教程上会出现，在“静电理论”或“共形映射”中会被引用。其二，黎曼切口可以在《暮光之城》的情节中发现。（需要强调的是，黎曼本人并未将他的切口看作宇宙之间的一种旅行方式）



黎曼的遗产

黎曼坚持着他在物理学方面的工作。1858年，他甚至宣布自己成功地统一了光和电的描述。他写道，“我完全相信自己的理论是正确的，过不了几年，它会得到大家的公认”。虽然他的度规张量给了他一个强大的工具描述任何维度中的任何弯曲空间，但他不知道度规张量服从的精确方程。也就是说，他不知道是什么使纸张产生皱褶。

不幸的是，黎曼解决这个问题的努力不断因贫穷而受挫。他的成功没有转化为钱。1857年，他又遭受了神经衰弱的打击。多年后，他终于得到了哥廷根大学高斯曾担任过的那个令人垂涎的职位，但为时已晚。贫困的生活破坏了他的健康，像历史上很多伟大的数学家一样，他在39岁时早逝于肺结核。他未能完成自己的引力、磁、电力的几何理论。

总体来说，黎曼的工作不仅是给超空间的数学理论打下了基础，它的意义甚至更为深远。回想起来，我们看到黎曼预期了现代物理学中一些重大的课题。特别是：

1．他利用高维空间来简化自然法则。对他来说，电、磁和引力都是超空间皱褶或变形引起的。

2．他预期了虫洞的概念。黎曼切口是多连通空间的最简单的例子。

3．他将引力表示为一个场。因为度规张量描述了空间每一点的引力（通过曲率），所以它正是应用在引力上的法拉第的场概念。

因为黎曼没有电、磁、引力服从的场方程，所以他无法完成他的引力场工作。换句话说，他不能精确地知道为了产生引力，宇宙应该如何皱褶。他试图发现电场和磁场的场方程，但他去世前未能完成这个项目。在他去世时，他仍然没有办法计算需要多少皱褶才能描述这个力。这些至关重要的发展将留给麦克斯韦和爱因斯坦。



生活在空间弯曲中

咒语终于被打破了。

黎曼，在他短暂的一生中，解除了2000年前欧几里得投下的咒语。黎曼的度规张量是一个强大的武器，使年轻的数学家可以无视那些一提到高维空间就号叫的人。追随黎曼脚步的人发现用度规张量谈论那些人们看不见的世界会更加容易。

很快，超空间的研究风靡全欧洲。杰出的科学家开始将这个思想普及到公众。赫尔曼·冯·亥姆霍兹（Hermann von Helmholtz）也许是他那代人中最著名的德国物理学家，他深受黎曼的影响，并通过广泛地写作和宣讲向公众介绍生活在球体上的智慧生命的数学知识。

根据亥姆霍兹的看法，球面上的那些生物具有与我们相似的推理能力，欧几里得的所有假设和定理在他们那里都是没用的。例如，在球面上的三角形的三个内角之和并非180度。高斯最先提出的“书虫”们发现，他们竟然居住在亥姆霍兹的二维球面上。亥姆霍兹写道：“几何定理必须根据这些与我们推理能力相同的生物居住的空间的类型而变化。”然而，亥姆霍兹在他的“科学主题的普及演讲”（1881年）中警告读者说，“我们不可能将第四维直观化。”他说：“事实上，这样的表现是不可能的，就像天生的盲人无法表现颜色一样。”

一些科学家惊叹黎曼著作的高雅，试图找到这个有力工具的物理应用。[7]当一些科学家们正在探索黎曼数学在更高维度的应用时，其他一些科学家们提出了更为实用的、世俗的问题。如：一个二维生物如何吃饭？为了让高斯的二维人能吃饭，他们的嘴将不得不面对侧面。但如果画出他们的消化道，我们可以注意到，这个通道将他们的身体完全分成了两半（图2.5）。因此，如果他们吃饭，他们的身体将分裂成两块。事实上，任何一条连接他们身上两个开口的管子都将会把他们的身体分成互不相连的两块。这给我们提出了困难的选择。要么这些人像我们一样吃饭并且他们的身体将被破开，要么他们遵循着与我们不同的生物学规律。

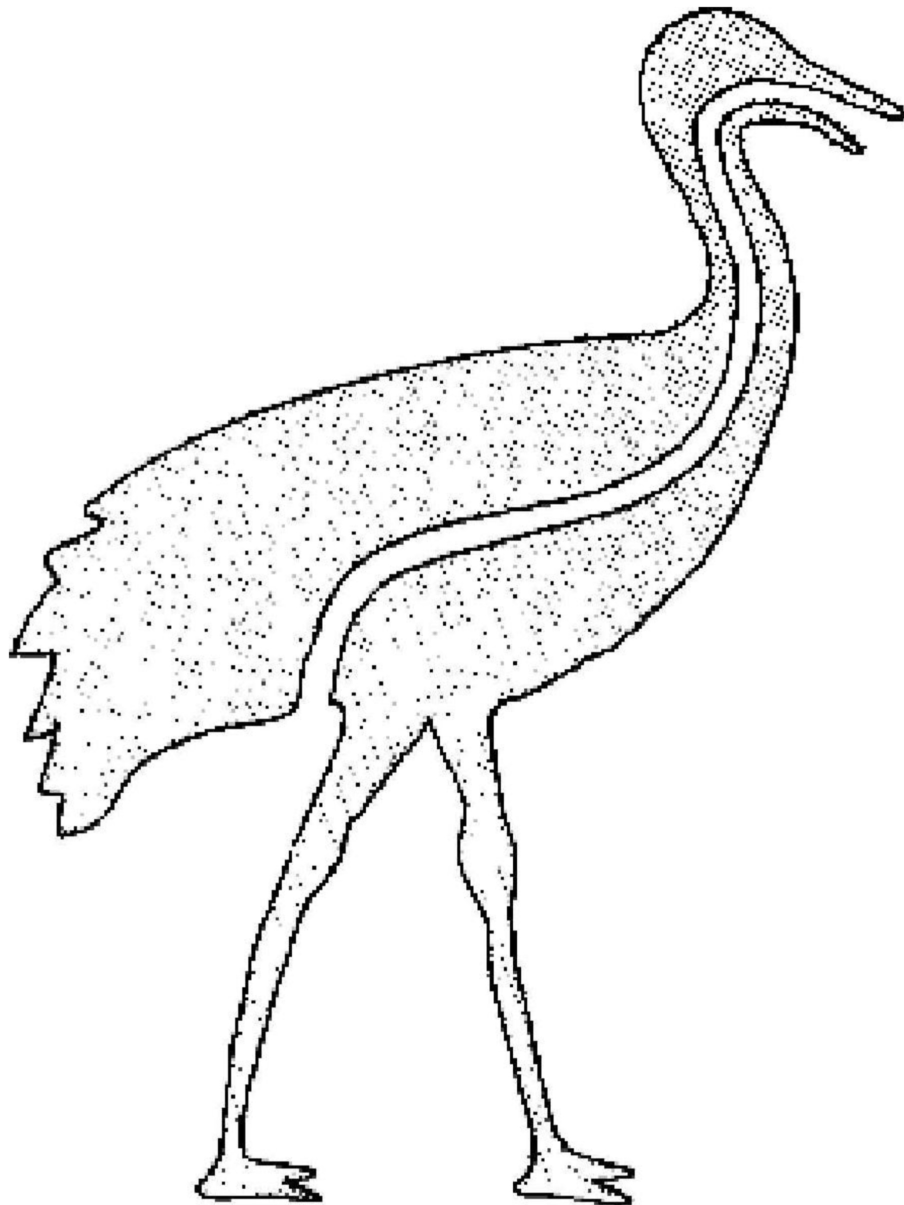


图2.5　二维的生物不能吃饭。一旦他吃饭，他的消化道必然将他分成不同的两块，身体就散架了。

不幸的是，黎曼的高等数学超出了19世纪相对落后的物理学的认知。没有物理原理来指导高等数学进一步的研究。为了让物理学家赶上数学家，我们必须等待又一个世纪。但这并没有阻止19世纪的科学家无止境地推测四维世界的生物是什么样子。很快，他们意识到这样的四维生物几乎拥有如上帝般的力量。



成为神

想象人能穿墙破壁。

你不必为开门而烦恼，你可以顺利地穿墙而过。你不必绕着建筑物行走，你可以通过它们的墙壁和支柱进入，并从后墙出来。你不必绕着山绕道，你可以直接钻进山里。饿了，你无需打开冰箱的门就可以将手伸进冰箱。你永远不会意外地被锁在车门之外，因为你可以直接穿过车门。

想象人可以随意消失或重现。无需开车去上学或上班，你会消失和重新出现在你的教室或办公室里。你不需要乘飞机去很远的地方，你可以消失和重新出现在你想要去的地方。在交通高峰期，你和你的车永远不会被困在城市交通中，只会消失和重新出现在你的目的地。

想象你拥有一双X光的眼睛。你能从远处看到事故的发生。你可以消失和重新出现在事故现场，看到受害者的确切位置，即使他们被埋在废墟之下。

想象一下能够进入一个物体而不需要打开它。你可以从橙子中取出橙子瓣而不需要剥皮或切割。你会被誉为一个熟练的外科医生，因为你有能力修复患者的内脏且无需切割皮肤，因而大大减少患者疼痛和感染的风险。你能直接进入病人的身体，直接通过皮肤做微妙的手术。

想象一下一个罪犯有了这些能力能够做什么。他可以进入戒备森严的银行。他能够看穿地下室沉重的大门发现贵重物品和现金，伸手到里面把它们拿出来。然后他可以大摇大摆地走出去，任凭卫兵的子弹从他身边穿过。有了这些能力，没有监狱能够囚住罪犯。

没有秘密能够瞒过我们。没有珍宝能够不让我们知道。没有障碍能够阻止我们。我们成了神奇的人，能够完成各种技艺，超出了人类的理解能力。我们真的变得无所不能。

什么生物能够具有这样的像神一样的能力？答案是：来自高维世界的生物。当然，这些技艺超出了任何一个三维人的能力。对我们来说，墙是坚固的，监狱的铁壁是不可打破的。试图穿墙而过，必然碰得头破血流。但对四维人来说，这些本领只不过是小孩玩意儿。

要理解怎样完成这些奇迹，再次考虑生活在二维桌面上的高斯的神

秘二维生物。要把一个罪犯囚禁起来，平地居民只需围绕着他画一个圈。无论罪犯向哪边走，他都会碰到穿不过的圈。然而，对我们来说，让囚犯跳出这个监狱是轻而易举的事。我们只要弯下腰，抓住平地居民，把他拽出二维世界，再把他放回他的世界中的别的地方（图2.6）。这种在三维世界十分平常的本领，在二维世界中看上去却非常神奇。

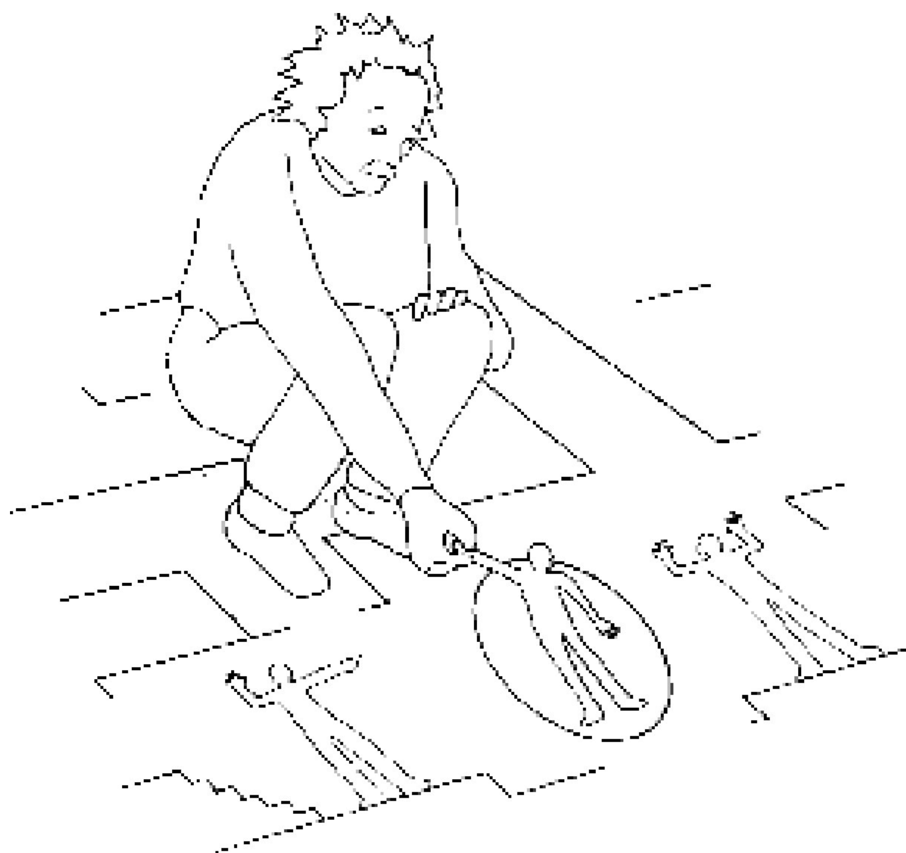


图2.6　在平地上，“监狱”就是围绕囚犯画的一个圈。在二维空间中希望囚犯逃出这个圈是不现实的。然而，一个三维的人可以把平地居民拉出监狱到三维空间中。对监狱看守来说，就好像囚犯神秘地消失在稀薄的空气中。

对他的监狱看守来说，这个囚犯突然从无法逃脱的监狱中丢失了，消失在稀薄的空气中。之后，他又突然地重新出现在别的地方。如果你向监狱看守解释，囚犯向上移动并离开了平面世界，他绝不会理解你说的是什么。在平地居民的词典中，不存在向上这个词语，也不可能对这个概念直观化。

其他一些事情也可以通过类似的方式解释。例如，平地居民的内部器官（如胃和心脏）对我们来说是完全可见的，就像我们在显微镜载玻片上看细胞的内部结构一样。进入平地居民的体内，无需切开皮肤而对他们进行外科手术也是很平常的事情。我们还能将平地居民从他们的世界中剥下来，翻个身，再把他们放下。注意，他现在左右器官的位置发

生了反转。就这样，他的心脏在右边了（图2.7）。

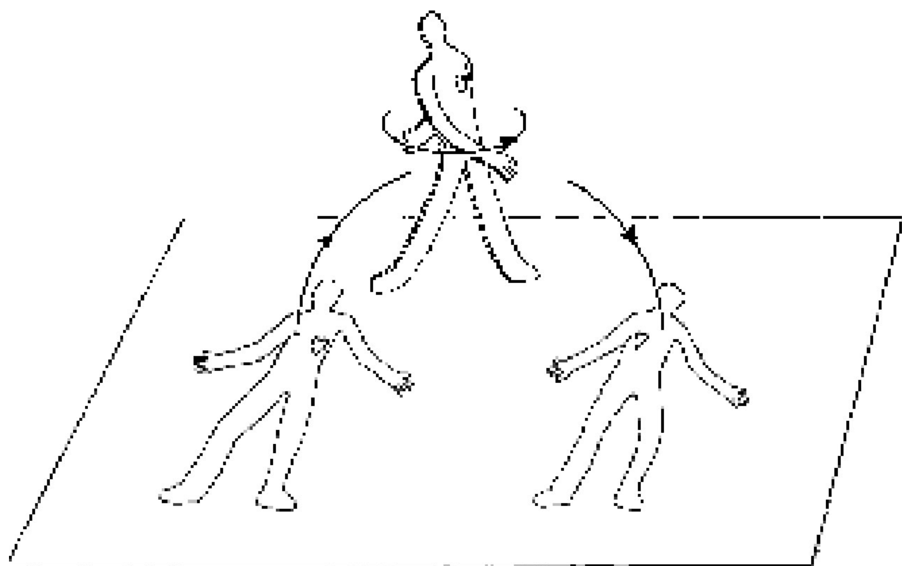


图2.7　如果将平地居民从他们的世界剥下来，在三维中将他翻个身，他的心脏将出现在右手侧。他的所有的内部器官都已经被反转。对于严格生活在平地上的人来说，这种变换在医学上是不现实的。

观察平地居民，我们会发现自己非常万能。即便平地居民藏在屋子里或在地下，我们也能轻松看到他。他会认为我们的能力是神奇的。然而，对我们来说，我们并不认为自己很神奇。这只是一种更高的视野在起作用。（虽然在原则上，这样神奇的本领在超空间物理领域内是有可能性的。但我们应该注意到，驾驭多空间—时间所必需的技术远远超过了地球上所能拥有的任何技术水平，这个问题甚至在几百年内也无法改变。驾驭超空间的能力有可能的确存在于宇宙中某些地外生命的能力范围中。他们的能力远高于地球上所能发现的任何事物。他们拥有的技术所能控制的能量，要比我们最强有力的机器产生的能量还要大1000万亿倍。）

虽然黎曼的著名演讲通过亥姆霍兹和其他许多人的工作而被推广，但普通公众并不了解其意，或者说他们对二维生物的饮食习惯并无兴趣。对一般人来说，更直接的问题是：什么样的人可以穿墙而过且能看穿钢铁并创造奇迹？什么样的众生是无所不能的且遵守一套不同于我们的定律？

当然是鬼了！

在缺乏物理原理激励的条件下引进高维思想，使第四维的理论突然有了意想不到的转变。在多维空间的历史上，我们将开始一段奇怪的但又不可忽视的弯路，并将考察它对艺术与哲学产生的意想不到的，但意义深远的影响。这种对大众文化的巡视，将表明神秘主义者如何给我们一些聪明的方法，而使高维空间“可视化”。



第四维度的鬼

1877年，第四维在公众中引起了轩然大波。那时，在伦敦的一个可耻的审判让第四维臭名昭著。

伦敦各大报纸广泛宣传了巫师亨利·斯莱德（Henry Slade）耸人听闻的声称和离奇的审批。当时的一些著名的物理学家卷入了这场哄闹的审判。宣传的结果是，对第四维的讨论从抽象的数学家的黑板上蹦进了上流社会，并成为了整个伦敦餐桌上的谈资。“臭名昭著的第四维”成为了伦敦街谈巷议的话题。

一位来自美国的巫师斯莱德访问了伦敦并参加杰出市民举行的降神会。他一开始是完全无辜的，后来他因诈骗罪被捕，并被指控“使用微妙的手法和道具，通过手相术和其他办法”欺骗顾客。通常情况下，这种审判并不会引起大众的注意。但当杰出的物理学家出面为他辩护时，伦敦社会震惊了，大众也产生了浓厚的兴趣。为他辩护的物理学家说，这个巫师的特异功能证明他能召唤第四维度的灵魂。这个丑闻被推波助澜，因为为斯莱德辩护的不是普通的英国科学家，而是世界上最伟大的物理学家。他们中的许多人获得过诺贝尔物理学奖。

煽动这起丑闻的主要人物是约翰·佐尔拉（Johann Zollner），莱比锡大学的物理学和天文学教授。佐尔拉率领一群显赫的物理学家来为斯莱德辩护。

当然，神秘主义者为皇家法院和公众社会表演小把戏并没有什么新奇。几个世纪以来，他们都宣称：他们能用心灵读出封闭信封里的字；从密闭的瓶子里取出物体；重新封装折断的火柴棒；将戒指套在一起。对这场官司最奇怪的曲解是，杰出的科学家声称，通过掌握四维空间的物体将有可能实现这些通灵技艺。在这个过程中，他们让公众初步了解了如何通过第四维表演这些神奇的把戏。

佐尔拉赢得了物理研究协会一些国际杰出的物理学家，甚至是这个组织的领导人的帮助。包括19世纪一些最著名的名字：威廉·克鲁克斯（William Grookes），他是阴极射线管的发明家，他的发明在今天主要用于世界上的电视机和电脑显示器[8]；威廉·韦伯（Wilheim Weber），他是高斯的合作者和黎曼的导师（今天，磁场的国际制单位正是以“韦伯”命名）；J．J．汤普森（J．J．Thompson），他在1906年因发现电子赢得了诺贝尔奖；瑞利勋爵（Lord Rayleigh），他是历史学家公认的19世纪后期最伟大的古典物理学家之一和1904年诺贝尔物理学奖获得

者。

克鲁克斯、韦伯、佐尔拉对斯莱德的工作产生了特殊的兴趣。斯莱德最终被法院认定为诈骗罪。然而，他坚持他可以通过在科学团体面前重复他的技艺来证明他的清白。出于好奇，佐尔拉接受了这个挑战。1877年佐尔拉进行了一系列控制实验，测试斯莱德是否具有通过第四维度传送物体的能力。佐尔拉邀请了几个杰出的科学家和自己一起对斯莱德的能力进行评判。

首先，他们给了斯莱德两个独立的、完整的木环。斯莱德能把一个木环放到另一个木环中，使它们交织在一起而不破坏木环吗？佐尔拉写到，如果斯莱德成功，它将“代表一个奇迹，即一种直到此前我们的物理概念和生理过程绝不能解释的现象”。

其次，他们给了斯莱德一个蜗牛壳，向右扭曲的或向左扭曲的。斯莱德能把右旋贝壳变成左旋贝壳吗，或者反之？

再次，他们给了斯莱德一个干的动物内脏制成的绳子。他能在不切断绳子的情况下在圆圈的绳子上做一个结吗？

斯莱德还受到了诸如此类的各种类似试验。例如，绳子打一个右手结，两端用蜡封住，盖上佐尔拉个人的印章。要求斯莱德不破坏封的蜡，解开这个结，在左手端重新打个结。因为在四维空间结总是解开的，所以对四维的人来说这个技艺是很容易实现的。他们还要求斯莱德从瓶子里取出东西，而不破坏瓶子。

斯莱德有表演这些奇迹的惊人的能力吗？



第四维度的魔法

今天我们意识到操纵更高维度空间所需要的技术，正如斯莱德所说，远超出了本行星在可以预见的未来能够掌握的任何事情。然而，这个臭名昭著的案例令人感兴趣的是，佐尔拉正确地得出了这样一个结论——如果能有什么办法将物体移动到第四维度，斯莱德的巫师专长就可以得到解释了。因此，由于教学上的原因，佐尔拉的实验是非做不可且值得探讨的。

例如，在三维中，两个分离的独立的环如果其中一个不被折断，它们就很难交织纠缠在一起。同样，封闭的圆形的绳子不破坏就不能扭成结。任何为得奖牌而拼命要解开结的男孩或女孩都知道，圆形的闭合的绳子的结是不能解开的。然而，在更高的维度，结很容易解开，环可以交织在一起。这是因为有“更多的空间”互相移动绳子和将环交织在一起。如果第四维度存在，绳索和环可以跳出我们的宇宙，交织在一起，然后回到我们的世界。事实上，在第四维度，结绝不能永远结在一起的。不用切开绳子就能解开结。这样的奇迹在三维中是不可能的，但在第四维中这是轻而易举的事。原来，三维是唯一能使打的结不被解开的维度。（注解中给出了这个意想不到结果的证据。[9]）

同样，在三维中也不能将无法改变的左旋物体转换成右旋物体。人类的心脏生来就在左边，外科医生不管多熟练，也不能逆转人体的内部器官。正如数学家奥古斯特·莫比乌斯（August Mobius）在1827年首先指出的，如果我们能把物体举出我们的宇宙，在第四维中实现翻转，然后再回到我们的宇宙这才可以成为可能。这些奇迹中的两个如图2.8所示，只有物体能移动到第四维度，才能进行这样的表演。

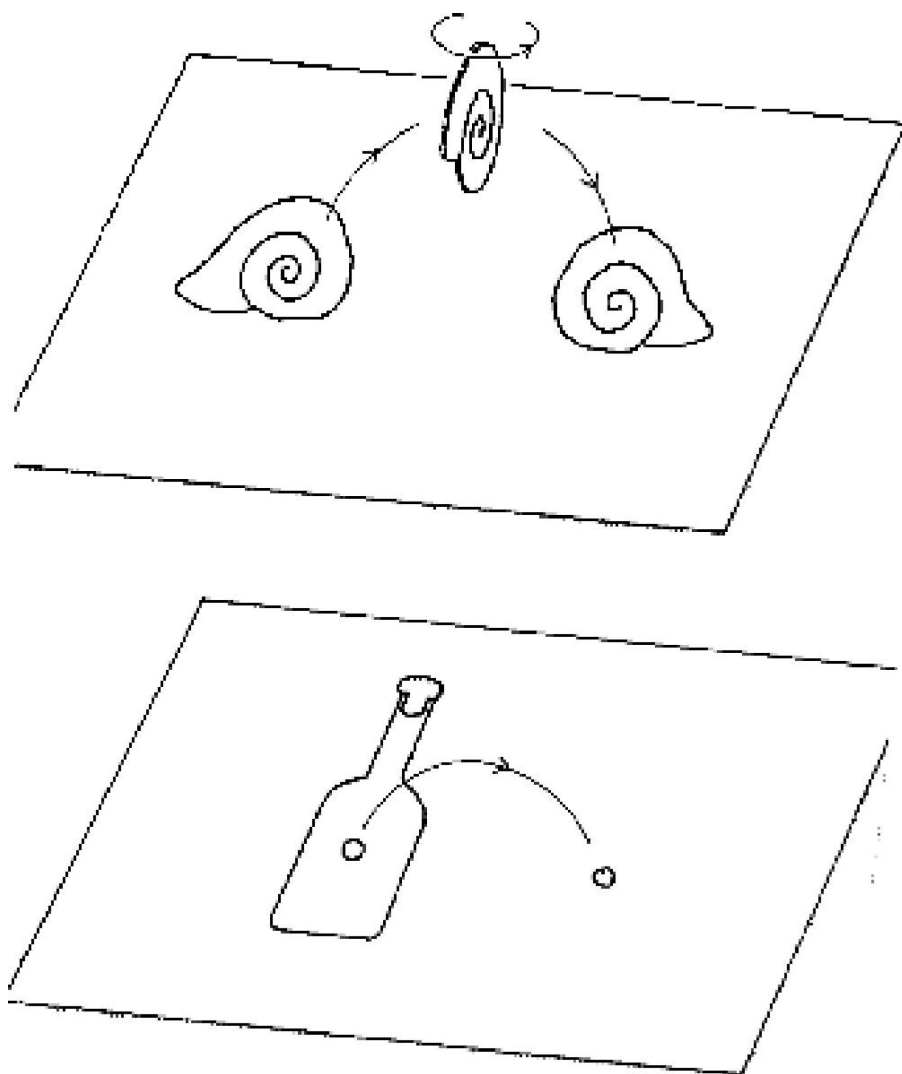


图2.8　神秘的亨利·斯莱德（Henry Slade）说他能将右旋贝壳变成左旋的，能从封闭的瓶子中取出物品。这些奇迹在三维空间中是无法实现的，但如果能将物体移动到四维空间，这些问题都可以得到解决。



科学团体的两极分化

佐尔拉在《科学季刊》和《抽象物理学》杂志上都发表了文章，引发了一场争论的风暴。他说，斯莱德在降神会上，在有杰出科学家在场的情况下所表演的神奇魔法让观众吃惊。（然而，有些在受控条件下进行的测试，斯莱德也没做成功。）

佐尔拉激烈地为斯莱德的技艺辩护，在伦敦社会中到处炒作。（事实上，这是19世纪后期几个涉及唯心论者和巫师的备受瞩目的事件之一。维多利亚时代的英国显然着迷于这类神秘事件。）科学家以及普通百姓很快地开始袒护这件事。支持佐尔拉说法的是他的著名的科学家的圈子，包括韦伯和克鲁克斯。他们不是普通的科学家，而是科学艺术大师和老练的实验观察者。他们花费了毕生的时间研究自然现象，现在，就在他们的眼前，斯莱德表演了只有生活在四维空间的精灵才能拥有的技艺。

但是，贬损佐尔拉的人指出，科学家是最不适合评论魔术师的，因为他们接受的训练是相信感觉。而魔术师接受的专业训练是转移注意力、掩人耳目以及将这些感觉相混淆。一位科学家可能正仔细地观察魔术师的右手，但魔术师却正用左手出其不意地完成了魔术。批评家也指出，只有另一个魔术师才能聪明地发现一位同行魔术师空手套白狼的把戏。只有贼才能抓住贼。

在季刊杂志《基本原理》上发表的一篇特别严厉的批评文章是针对另外两位杰出的物理学家，W．F．巴雷特爵士（Sir W．F．Barrett）和奥利弗·洛奇爵士（Sir Oliver Lodge）的，他们的工作是有关心灵感应的研究。这篇文章毫不留情地批评道：

> 无需将所谓的心灵感应现象看作是不可解释的，也无需将巴雷特爵士和洛奇爵士的智力表演当回事。这里也许还有第三种可能，主观意愿使他们接受了一些证据，但如果他们接受过实验心理学的训练，他们就会重新看待自己之前找到的证据。

一个世纪后，在对以色列巫师尤里·盖勒（Uri Geller）特异功能的争论上出现了同样的讨论，赞成和反对。尤里·盖勒说服加利福尼亚斯坦福研究所的两位著名科学家，说他可以只用精神力量就能弯曲一把钥匙和表演其他特异功能。（评论这件事时，一些科学家津津乐道地引用古罗马人的一句谚语：“想受骗者必受骗。”）

英国科学界内蔓延的激情触发了一场生动的辩论，迅速传过英吉利海峡。不幸的是，在黎曼死后的几十年里，科学家忘记了他最初的目标——通过更高维度简化自然法则。结果，高维理论徘徊在许多有趣却问题百出的研究方向上。这是一个重要的教训。没有清楚的物理动机或没有指导性的物理绘景，纯粹的数学概念有时会演变成投机活动。

然而，这几十年来高维理论并未完全迷失方向，因为像查尔斯·欣顿（Charles Hinton）那样的数学家兼神秘主义者想出了一些很机敏的方法，可以用来观察第四维。最终，第四维度普遍的影响峰回路转，全面流行起来并再次影响了物理世界。

3　看见四维的人

到了1910年，第四维已经几乎成为家喻户晓的话题……谈话范围从理想的柏拉图或康德的现实——或者甚至天堂——到困扰当代科学的所有问题的答案，第四维让所有人感到满意。

——琳达·达尔林普尔·亨德森（Linda Dalrymple Henderson）

由于审判臭名昭著的斯莱德先生所唤起的大众关注效应，长期的争论最终酿成一部畅销小说也许是必然的事情。

1884年，在10年的激烈辩论后，伦敦城市学校校长，牧师埃德温·阿博特（Edwin　Abbot）撰写了一部惊人的成功的长久不衰的小说——《平地居民：方先生多维空间浪漫史》。牧师能写小说并不奇怪，因为英国教堂的神学家是首批参加这场具有轰动效应的审判所产生争吵的人。若干世纪以来，牧师一直巧妙地回避着一个长期存在的问题——天堂和地狱在哪儿？天使住在何处？现在，他们发现了这些问题的答案：四维空间。基督徒巫师A．T．斯科菲尔德（A．T．Schofield）在他1988年写的书《另一个世界》中详细论述了神和精神居住在第四维。[10]神学家亚瑟·威林克（Arthur Willink）也不甘示弱，他在1893年写了《看不见的世界》一书。在这本书中，他提到，上帝不适合居住在低级的第四维世界。上帝唯一神圣的居住地是无限维世界。[11]由于公众对高维的强烈兴趣，该书立即在英国取得成功，到1915年已实现了9次重印。今天，该书的版本已多到无法计数。

小说《平地居民》的惊人之处，是阿博特首次把围绕第四维的长期争论作为辛辣社会的批评和讽刺的载体。阿博特开玩笑般地批评那些固执的拒绝承认可能存在其他世界的伪善的人。高斯的“书虫”变成平地居民。高斯所害怕的“笨蛋”变成了高级牧师，这些高级牧师将以西班牙宗教法庭的严酷和公正来迫害那些胆敢提出看不见第三维的人。

阿博特的《平地居民》是对英格兰维多利亚时代盛行的阴险的偏执和令人窒息的偏见的一个变相的批评。这部小说的英雄是方先生，他是一个生活在二维国等级社会中的保守绅士，在这片土地上的每个人都是一个几何物体。妇女处于这个社会阶层中的最底层——线；贵族是多边形；高祭司是圆。人们具有的边的数量越多，社会地位越高。

书中严格禁止人们讨论第三维度的问题。任何提到三维的人都会被判重刑。方先生是一个自鸣得意和自命正直的人，从未想过要挑战当权派的不公平。然而，有一天，一个神秘的球大人（一个三维球体）访问了他，他的生命发生了根本性的改变。在方先生的眼里，球大人似乎是一个可以神奇地改变大小的圆（图3.1）。

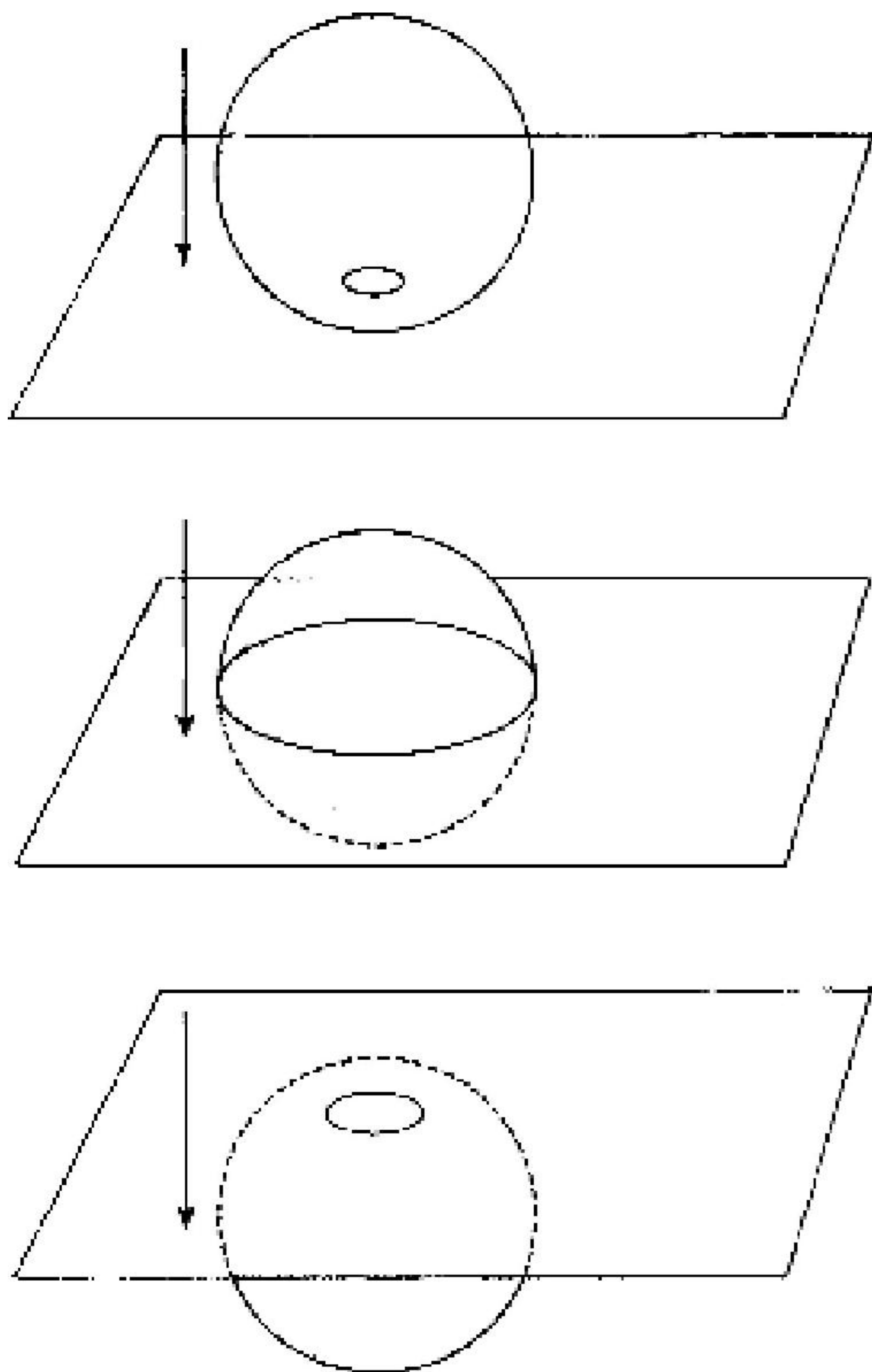


图3.1　在平地中，方先生遇到了球大人。当球大人通过平地时，他看上去是一个圆，尺寸不断变大，然后不断变小。因此，平地居民不能直观化三维物体，但能够理解横截面。

球大人试图耐心地解释他来自另一个叫做立体国的世界，这个世界上的所有物体都有三个维度。然而，方先生并不相信。他顽固地抗拒存

在三维世界的想法。球先生很沮丧，决定诉诸行动，而不只是单纯的语言表达。他将方先生从二维平地中拽出，扔到立体国。这是一个奇妙的神秘的经历，它改变了方先生的生活。

当平的方先生像一片纸在风中飘荡在三维空间中时，他只能看到立体国的二维切片。因为方先生只能看到三维物体的横截面，所以他看到一个梦幻的世界，物体的形状改变，甚至忽而出现，忽而消失在空中。然而，当他试图告诉他的平地居民，告诉他们自己访问三维空间看到的奇迹时，高祭司却将他定性为一个胡言乱语的煽动言论的疯子。方先生变成高祭司的一个威胁，因为他挑战了他们的权威和只可能存在二维的神圣的信仰。

这本书以一种悲观的语气结尾。尽管人们相信他确实访问了立体国的三维世界，但方先生被投入监狱，并被判在狱中铁窗之内度过余生。



在第四维度中的晚宴

阿博特的小说之所以重要，是因为它是首部拜访更高维度世界的广为流传的通俗小说。他对方先生进入立体国的迷幻之旅的描述在数学上是正确的。在流行的解释和电影中，穿越超空间的维度之间的旅行通常被描绘为闪烁的灯光和有着黑暗漩涡的云。然而，高维旅行的数学比科幻作家想象的更有趣。为了可视化空间旅行是什么样的，我们可以想象一下将方先生从平地上拽出来扔到空中时的情形。当他飘过我们的三维世界时，可能在偶然间看见了三维世界中的我们（人类）。在方先生的眼中，我们又是怎样的模样呢？

因为他的双眼只能看到我们世界的平的切片，人类看起来像一个丑陋而可怕的物体。首先，他可能看见两个皮革圈在他的面前盘旋（我们的鞋子）。当他向上飘移时，这两个圆圈改变颜色，变成了布（我们的裤子）。然后，这两个圈凝聚成一个圈（我们的腰），再分成三个布圈并再次改变颜色（我们的衬衫和胳膊）。再后，当他继续向上飘浮时，这三个布圆圈合并成一个较小的肉圈（我们的脖子和头）。最后，肉圈变成了一团头发。当方先生飘浮到我们头顶之上时，我们突然消失了。对方先生来说，这些神秘的“人”是一个由皮革、布、肉和头发做成的不断改变的由圆圈组成的可怕的、令人疯狂的困惑的集合。

同样，如果我们被剥离出三维宇宙并被扔入第四维度，我们会发现我们现在所掌握的常识将变成无用的理论。当我们飘进第四维度，在我们的眼前不知从哪出现一团难以名状的东西。它们不断变化颜色、大小、组成，无视我们的三维世界的逻辑规则。它们消失在稀薄的空气中，被其他的盘旋的难以名状的一团东西代替。

如果我们被邀请参加第四维度的晚宴，我们如何区分这些生物呢？我们不得不通过它们团块变化的差异来辨认它们。高维中的每一个人都有其自身团块变化的特征序列。过一段时间，我们将学会靠团块及颜色变化的方式来辨认它们。在超空间中出席宴会也许是一种痛苦的经历。



第四维度中的阶级斗争

及至19世纪末，第四维度的概念已经如此普遍地感染了知识界，以至于剧作家们都可以用它来嘲弄时弊了。1891年，奥斯卡·王尔德写了一个关于这些鬼故事的恶作剧《肯特威尔鬼》。它讽刺某些愚蠢的“心理学会”的勋绩（毫不掩饰地指向克鲁克斯的社会心理研究）。王尔德写了一个长期受苦的鬼魂遇到新来的美国房客肯特威尔。王尔德写道：“这个鬼显然没有时间逃跑，所以匆忙采用第四空间作为逃避的手段，他幽灵般地通过护墙板消失了，房子安静了下来。”

H．G．威尔斯（H．G．Wells）的著作对第四维度文学的贡献更大。虽然人们主要由科幻作品而想起他的名字，但他当时也是伦敦社会知识界最有影响力的人物之一。他通常以文学批评、评论和才华横溢而著称。在他1894年出版的小说《时间机器》中，他将数学、哲学、政治主题结合在一起。他推广了科学上的一个新思想——第四维也许可以看作时间，而不一定是空间［威尔斯并非第一个推测时间可以视为异于空间维的新型第四维的人。吉恩·达兰贝尔（Jean　d'Alembert）在他1754年的文章“维度”中已将时间看作第四维度。］：

> 显然，任何现实的物体必须在四个方向延伸，长度、宽度、高度，以及——持续时间。但是，由于人类的天生缺陷……我们通常倾向于忽略这一事实。实际有四个维度，其中三维被称为空间的三个方向，还有一个第四维度——时间。然而，存在着在前三维和后一维之间划一道并非真实存在的鸿沟的趋势，因为恰巧我们的意识自始至终沿着这后一方向断断续续地运动着。

与在它之前出版的《平地居民》相似，使《时间机器》在出版后一个世纪长盛不衰的原因是它尖锐的政治和社会评论。威尔斯作品的主人公发现，802701年的英国不是实证主义者所预言的闪闪发光的现代科学奇迹的城堡。与此相反，未来的英国是一个充满阶级斗争的地方。工人阶级被残酷压迫在底层社会，直至变为一个新的物种——野蛮的莫洛克人。而放纵于声色犬马之中的统治阶级则因腐败而发展为像小精灵似的无用的种族——埃洛伊人。

威尔斯是一位著名的费边（Fabian）社会主义者，用第四维度对阶级斗争作了最大的讽刺。穷人和富人的矛盾走向疯狂。无用的埃洛伊人由勤劳的莫洛克人喂养，衣食无忧。故事的最终，工人们复仇成功：莫洛克人吞食了埃洛伊人。换言之，第四维度成为马克思主义批判现实社

会的陪衬。不同的是：工人阶级不会如马克思预测的那样打破富人的枷锁，而是吃掉富人。

威尔斯在一篇短篇小说《普拉特纳故事》中甚至谈到用左手或用右手的悖论。戈特弗里德·普拉特纳（Gottfried Plattner）是一个科学教师。他进行了一次精心准备的化学实验，但他的实验失败了，他被送到另一个宇宙。当他从阴间返回到现实世界中时，他发现他的身体已经以奇怪的方式改变了：他的心脏在右侧出现，同时，他还成为了左撇子。医生对他进行身体检查时，惊讶地发现普拉特纳的整个身体发生了翻转。这是我们这样的三维世界的生物无法想象的事情："普拉特纳左侧和右侧的逆转是一个证据，证明他离开我们的宇宙到了第四维，然后他又回到了我们的世界。"然而，普拉特纳拒绝在他死后进行尸体解剖，从而将"确凿地证明他整个身体的左右边已经倒置的证据"推迟到"也许是无限的将来"。

威尔斯清楚知道有两种方法可以直观化左手物体如何转换为右手物体。例如，一个平地居民被举出他的世界，翻个身再放回到平地，从而实现了器官在方向上的翻转。或者，一个平地居民可以生活在一个莫比乌斯（Möbius）带上。莫比乌斯带是将一个纸带扭转180度，然后将两端粘在一起形成的。如果一个平地居民围绕这个条带走一圈再回来，他发现他的器官在方向上同样发生了翻转（图3.2）。这个条带还有另一个惊人的性质让科学家着迷了过去整个世纪。例如，你环绕它的表面走一圈，你将发现它只有一面。此外，如果你沿着中心条带把它切成两半，它将继续以条带形式存在，而不会断成两块。这就产生了一首数学家的打油诗：

一个数学家相信，
莫比乌斯带是单面的。
你会开怀大笑：
因为如果把它切成两半，
分开时它仍然是连在一起的。

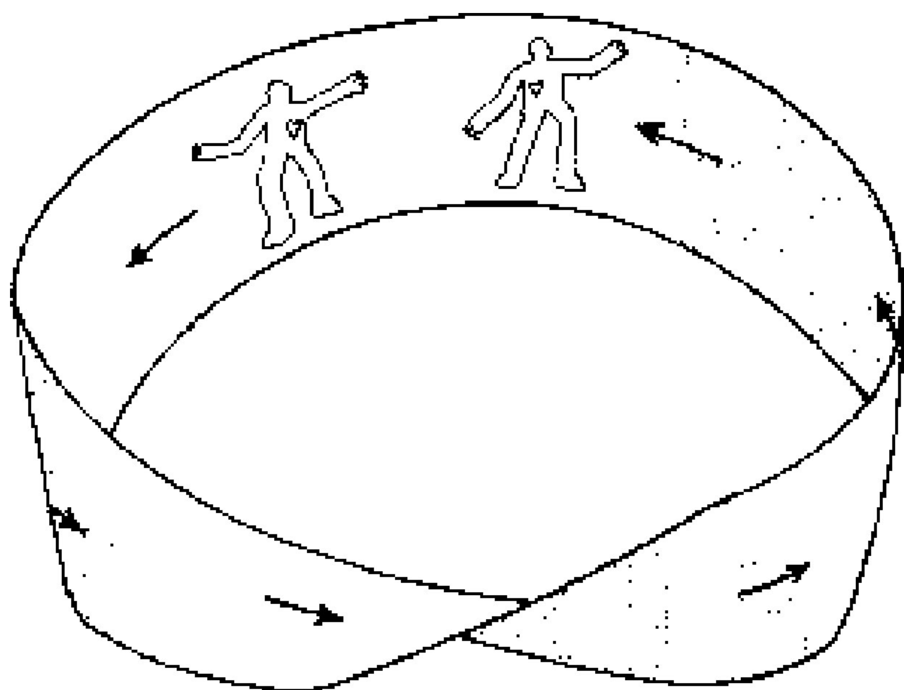


图3.2　一个莫比乌斯带是一个只有一面的带子。它的外侧和内侧都是相同的。如果一个平面居民沿着这个条带走一圈，他的内部器官将发生逆转（左右倒置）。

威尔斯在他的名著《隐形人》中推测，通过“一个公式、一个相关四维的几何表达式”，人是可以实现隐形的。威尔斯知道，一个平面居民如果从他的二维世界剥离出去，他就会从他的世界消失；同理，如果一个人想办法跳入四维空间，也会在我们的三维世界中消失（隐身）。

威尔斯在短篇小说《戴维森眼里的非凡的案例》中探索了一个想法，“在空间中扭结”可能使一个人跨越辽阔的距离。戴维森是这个故事中的主角，有一天，他发现自己拥有了令人不安的本领，能够看到遥远的南海岛上发生的事情。这个“空间扭结”是一种空间弯曲，所有从南海来的光穿越了超空间进入了身在英国的他的眼中。因此，威尔斯在他的科幻小说中将黎曼的虫洞应用到了他的文学构思中。

在《精彩的访问》中，威尔斯探索了天堂存在于平行世界或平行维度中的可能性。故事情节涉及一个天使偶然地从天堂掉落到一个英国乡村而陷入了困境。

威尔斯作品的普及开辟了一个新的虚幻小说的体裁。数学家刘易斯·卡罗尔（Lewis Carroll）的朋友乔治·麦当劳（George McDonald）也猜测过有关天堂位于第四维度可能性。麦当劳在1895年撰写了幻想小说《莉莉丝》，书中的主角通过操纵镜子里的倒影在我们的宇宙和其他世界之间创造了一个二维窗口。《继承者》于1901年由约瑟夫·康拉德（Joseph Conrad）和福特·马多克斯（Ford Madox）合作撰写。故事描述了从第四维来的一族冷酷无情的超人进入了我们的世界，并开始接管

我们的世界。



第四维度成为一种艺术

1890—1910年可以视为第四维度的黄金年。它是这样一个时期：高斯和黎曼开创的思想渗透到文学界、先锋派和公众的思想中，极大影响了艺术、文学、哲学的发展。新哲学的分支神智学就深受高维的影响。

一方面，严肃的科学家为这种发展感到惋惜，因为黎曼的严格结论在宣传中被放到了次要地位。另一方面，第四维度的普及有积极的一面。它不仅使公众可用的数学取得进步，而且也暗示了更加丰富和互相渗透的文化动向。

艺术史学家琳达·达尔林普尔·亨德森（Linda Dalrymple Henderson）在《第四维和现代艺术中的非欧几何》中详细说明了这一点，并认为第四维度对艺术世界的立体主义、表现主义的发展产生了重要影响。她写道："在立体派中间，建立在新的几何图形之上的最好的和最连贯的艺术理论已发展起来"。对先锋派来说，第四维象征着对资本主义横行霸道的反抗。他们把压抑的实证主义与庸俗的唯物主义看作是对艺术表现中的创造性的扼杀。例如，立体派强烈反对科学狂热者的傲慢，认为它们的创作是非人性化的。

先锋派把第四维度作为他们的工具。一方面，第四维度将现代科学的边界推到了极限。它比科学家更科学。另一方面，它是神秘的。炫耀四维使僵硬的万事通实证主义者感到难堪。特别是，它采取了艺术反叛的形式反对透视法。

中世纪的宗教艺术很有特色，它故意缺乏透视效果。农奴、农民、国王被描绘成好像是扁平的，就像儿童画人那样。这些画极大地反映了教会的观点，上帝是无所不能的，因此他可以平等地看到我们世界的所有部分。艺术不得不反映他的观点，因此世界被画成二维的。例如，著名的贝叶挂毯（图3.3）描绘了1066年4月英国国王哈罗德二世的一个迷信的士兵惊叹于不祥的彗星在头顶飞过的场景。（6个世纪后，这颗彗星被取名为哈雷彗星。）哈罗德在黑斯廷斯的残酷战斗中输给了征服者威廉。威廉加冕英国国王，英国的历史揭开新的一章。然而，贝叶挂毯像其他的中世纪的艺术作品一样，把哈罗德士兵的臂膀和脸画成平的，好像一块玻璃板放在他们身体上，把他们压进挂毯。



图3.3　这是贝叶挂毯中的一幕。它描绘了恐惧的英国军队指向天上的一个幽灵（哈雷彗星）的场景。画面中的人物是平的，这与中世纪所作的大多数艺术品一样，它标志着上帝是万能的。因此这张图是画成二维的。

文艺复兴艺术反对这种以上帝为中心的平面透视法，于是，以人为中心的艺术开始繁荣起来。这种艺术从人的视觉出发，画出全景式的实际中的三维的人。在达·芬奇的关于透视法的有力的研究中，我们可以看到在他的素描中，线条都消失在地平线的某一点。文艺复兴艺术反映了人观察世界的方式，是从观察者的视角出发。在米开朗基罗的壁画或达·芬奇的素描画中，我们看到大胆的有气势的人物跳出二维。换句话说，文艺复兴艺术发现了第三维（图3.4）。

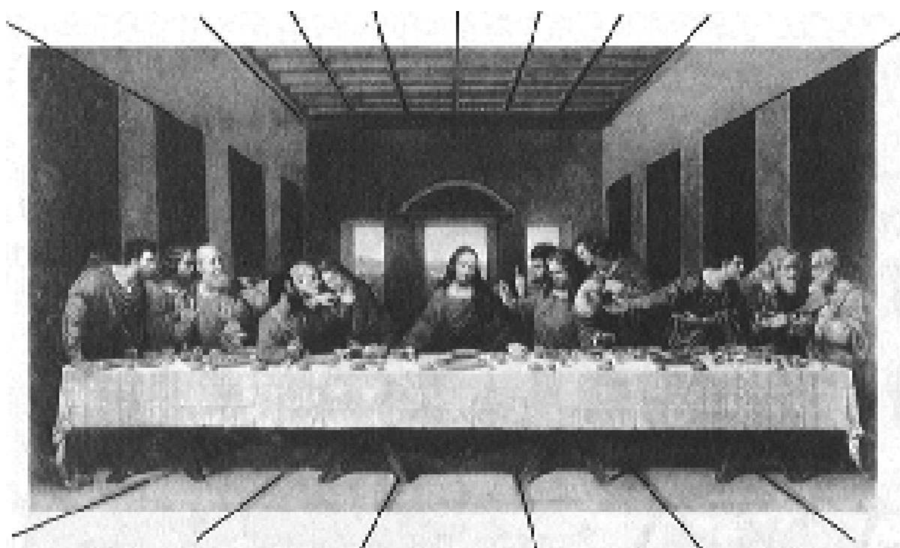


图3.4　在文艺复兴期间，绘画家发现了第三维。图是用透视法画的，视角是从人眼的有利位置发出，而不是从上帝的眼发出。注意在达·芬奇的壁画《最后的晚餐》中所有的线条都汇聚到地

平线上的某一点。

随着机器时代和资本主义的萌芽，艺术世界开始反叛于支配着工业社会统治地位的冷漠的唯物主义。对立体派艺术家而言，实证主义是个紧箍咒，它把我们局限在实验室可以测量的内容上，压制了人们的想象力。他们问：为什么艺术必须是客观“真实的”？这个反对透视的立体派艺术家抓住了四维，因为它从所有可能的透视效果触及到第三维。简言之，立体派艺术家拥抱了第四维。

毕加索的画是一个极佳的例子，它们表明了透视法被完全抛弃。画中妇女的脸可以同时被多个角度观看。取代单一视点，毕加索的画不是单视角的，而是多视角透视的。就像是从四维来的人所绘画的，能够同时看到所有的视角（图3.5）。

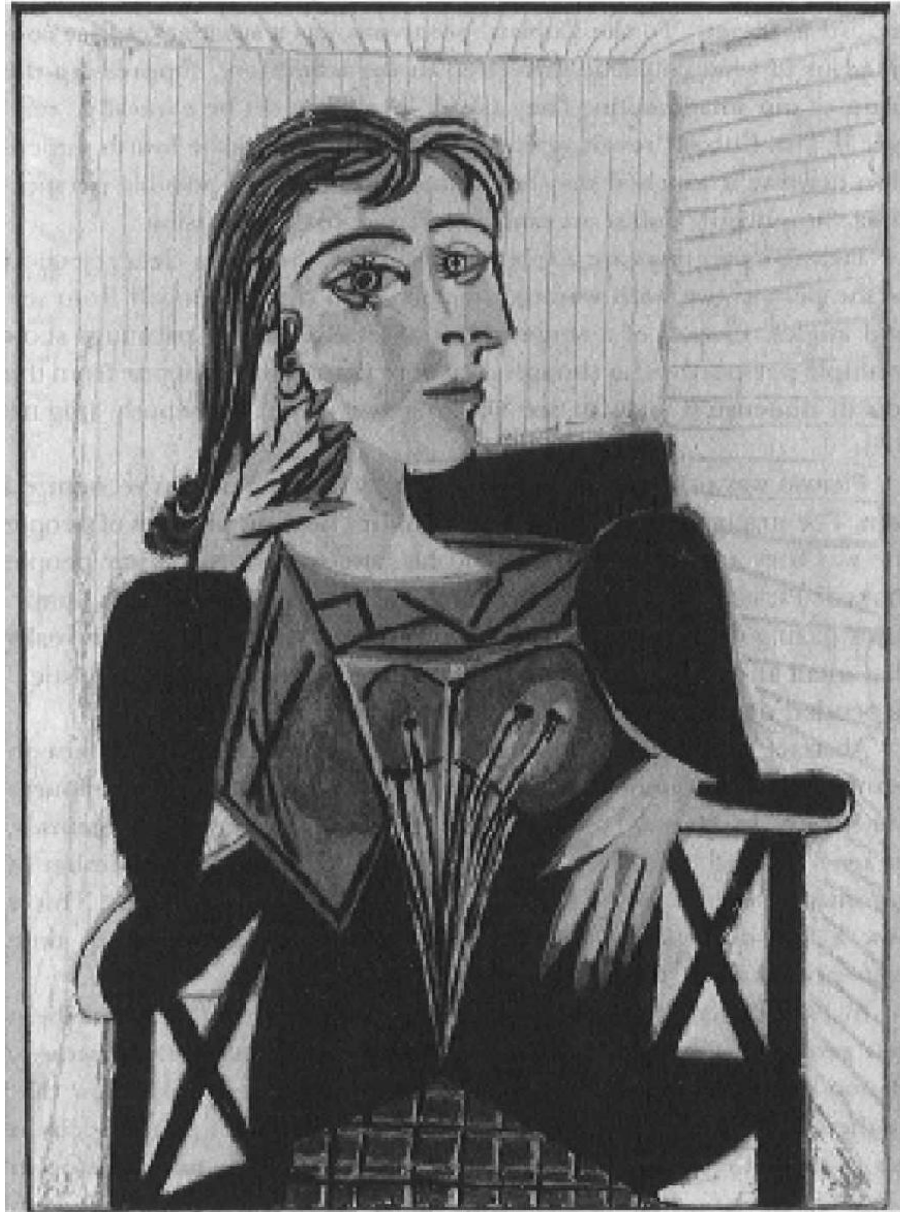


图3.5立体派受到四维的极大影响。例如，它试图通过四维人的眼来看真实的物体。这样一个人看人的脸时会同时从所有视角审视。因此，四维人立即看见了画面中的人的两只眼睛，正如在毕加索画的多拉·玛尔（Dora Maar）肖像中那样。

有一次，毕加索在火车上碰到一位认识他的陌生人走过来和他说话。陌生人抱怨，问他为什么画的人像与实际情况不相符，为什么要用看上去扭曲的方式来绘画呢。之后，毕加索向这个陌生人索要了他的家庭照。在扫了一眼后，毕加索回答，“啊，你的妻子真的那样又小又平吗？”对毕加索来说，一幅画即便再真实，它的观察效果也只取决于观察者的视角。

抽象派画家试图将人们的脸画出立体效果，他们通常将时间当作第四维度。在马塞尔·杜尚（Marcel Duchamp）的画《下楼梯的裸女》中，我们看到一个妇女的模糊的阴影。因为当她走下楼梯时，整个过程中她的无穷多个像重叠起来。如果时间是第四维度，这就是一个四维人看人的方式，他一次可以观察到全过程的效果。

1937年，艺术批评家迈耶·舍皮罗（Meyer Schapiro）总结这些新几何学对艺术世界的影响，他当时写到，“正像非欧几里得几何的发现给了‘将数学看作是独立的存在’以巨大的动力，抽象绘画也同样切断了经典艺术模拟的古典思想之根。”或者，如艺术史学家琳达·亨德森（Linda Henderson）所说，“四维和非欧几何是统一众多现代艺术和理论的最重要的主题。”[12]



布尔什维克和四维

四维也借助于神秘主义者P．D．奥斯本斯基（P．D．Ouspensky）的写作传入沙皇俄国。他将四维的秘密引进了俄国的知识界。它的影响非常深远，甚至影响了费奥多尔·陀思妥耶夫斯基（Fyodor Dostoyevsky）。他在自己的著作《卡拉马佐夫兄弟》一书中，在关于“上帝存在性”的讨论中让书中的主人公推测“高维和非欧几里得几何的存在性”。

在俄国发生的历史事件中，四维在布尔什维克革命中也起了一种奇特作用。今天，在科学历史上这个奇怪的插曲是重要的，因为弗拉基米尔·列宁也参加了有关第四维的争论，最终对苏联的科学施加了长达70年之久的巨大影响。[13]（事实上，俄国科学家在建立今天的十维理论中起了关键性作用。）

在沙皇残酷地镇压了1905年的革命之后，在布尔什维克党内建立了一个叫托派或“上帝的建设者”的派别。他们认为农民还未作好接受社会主义的准备。为了使他们做好准备，布尔什维克应该通过宗教和唯心论说服他们。为了支持他们的异端观点，“上帝的建设者”引证德国物理学家和哲学家厄恩斯特·马赫（Ernst Mach）的著作。他雄辩地写了四维和近来的一种新的叫做放射性的神秘的物质性质。“上帝的建设者”指出，法国科学家亨利·贝克勒尔（Henri Becquerel）在1896年发现的放射性和玛丽·居里（Marie Curie）在1896年发现的镭在法国和德国文学界点燃了激烈的哲学争论。似乎物质可以缓慢地瓦解，能量可以以放射性的形式重新出现。

毫无疑问，新的有关放射性实验证明了牛顿物理的基础是不牢固的。希腊人曾认为物质是永恒不变的，可现在在我们的眼皮底下瓦解了。铀和镭，击败了人们接受的传统观点，它们在实验室变异了。对某些人来说，马赫是带领他们离开困扰的先知。然而，他指向了错误的方向，拒绝唯物主义和声称空间和时间是我们感觉的产物。他徒劳地写到，“我希望，不要有人用我在这个题目上说的或写的为鬼故事辩护”。

在布尔什维克内部产生了分裂。他们的领袖弗拉基米尔·列宁吓坏了。社会主义能容纳鬼和恶魔吗？1908年，他流亡到了日内瓦，写了一部庞大的哲学书《唯物主义和经验批判主义》，猛烈地批评神秘主义和形而上学，并为辩证唯物主义进行辩护。对列宁来说，物质和能量的神秘消失不能证明神灵的存在。他认为，这反而意味着出现了一个新的辩证法能够既包含物质也包含能量。它们不再像牛顿所做的那样把它们看

作是分割的实体。现在必须把它们看作为辩证统一的两极。一种新的守恒原理是必要的。（列宁不知道爱因斯坦在3年前，在1905年提出了正确的原理。）此外，列宁质疑马赫轻松地接受了第四维度。首先，列宁称赞马赫，“他设想并提出了N维空间这个十分重要而又有用的问题。”然后，他责备马赫，“没有强调只有三维空间才能被实验证明。”列宁继续写道：“数学家可以探索第四维度和可能存在的世界，这是件好事，但沙皇却只能在第三维中被打倒！”

列宁战斗在第四维度和放射性新理论的战场上，他需要若干年时间从布尔什维克党根除托派。然而，他在1917年“十月革命”爆发前不久就赢得了这场战役。



重婚者与第四维度

最终，第四维度的思想跨越了大西洋来到美国。它们的信使是一位英国数学家，名为查尔斯·霍华德·辛顿（Charles Howard Hinton）。1905年，正是阿尔伯特·爱因斯坦在瑞士专利局的办公桌上操劳，并发现了相对论定律的时候。这时的辛顿正在华盛顿的美国专利局工作。虽然他们从未谋面，但他们的道路却在几个有趣的地方交会起来。

辛顿终身痴迷于推广和直观化第四维的概念。他应该作为“看见”第四维的人而被载于科学史册。

辛顿是英国著名的耳外科医生杰姆斯·辛顿（James Hinton）的儿子。他父亲是个自由信仰者。多年来，富有魅力的老辛顿演变成一个宗教哲学家，公开提倡“自由恋爱”和“一夫多妻制”。他最后成为英国一个有影响力的邪教的首领。他被一群极其忠诚的自由思想追随者包围着。他最著名的一句话是“耶稣基督是男人的救世主，但我是女人的救世主，我一点都不羡慕他！”

然而，他的儿子查尔斯似乎注定要成为一个数学家，过着令人尊敬的，无聊的生活。他着迷的不是一夫多妻制，而是多边形！1877年，他毕业于牛津，成了阿宾汉姆学校的受人尊敬的教师，同时攻读他的数学硕士学位。在牛津，辛顿开始极有兴趣地试图将第四维度直观化。作为一个数学家，他清楚地知道三维生物无法将四维物体整体直观化。他推测，直观化一个四维物体的横截面或解开的四维物体还是具有可能性的。

辛顿在大众媒体上发表了他的观点。他为《都柏林大学杂志》和《切尔滕纳姆女子学院杂志》写了有影响力的文章“第四维度是什么”。1884年，这篇文章重新印刷时加上了一个诱人的副标题——“鬼的解释”。

辛顿原本过着舒适的学术生活，然而，在1885年突然来了个大转弯。他涉嫌重婚罪被捕并被投入了监狱。早些时候，辛顿娶了玛丽·珠峰·布尔，一个他父亲圈子里的成员的女儿，以及伟大数学家乔治·布尔（布尔代数的创始人）的遗孀。此外，辛顿还是莫德·韦尔登（Maude Weldon）生育的一对双胞胎的父亲。

阿宾汉姆学校的校长，在他的妻子玛丽和他的情妇莫德同时在场时就已注意到了辛顿。他错误地认为莫德是辛顿的妹妹。辛顿在他错误地

娶了莫德之前一切都好。当校长得知辛顿是一个重婚者后，他立即被解雇了。辛顿被审判为重婚罪，他被监禁3年。但他的妻子玛丽·辛顿拒绝起诉自己的丈夫，他们一起离开英国到了美国。

辛顿被聘为普林斯顿大学数学系讲师，他将痴迷的第四维度暂时搁在一边，发明了棒球机。普林斯顿棒球队得益于辛顿的这个机器的发明，它可以将棒球以每小时70英里（110公里）的速度抛射出去。辛顿的这个创作的派生物可以在当下世界的任何一个主要的棒球场看到。

辛顿最终被普林斯顿大学解雇了，但通过他导师的影响力，他在美国海军气象天文台得到了一份工作。他的导师是一位第四维度的虔诚倡导者。此后，在1902年，辛顿在华盛顿专利局得到了一份工作。



辛顿的立方体

辛顿花了几年时间建立巧妙的方法，让普通人和越来越多的追随者（不仅是专业数学家）可以“看到”四维物体。最终，他完善了一个特殊立方体，如果一个人足够努力的话，他就能可视化超立方体，或四维立方体。这些立方体最终被称为辛顿立方体。辛顿甚至为解开的超立方体创造了一个正式的名字——超正方体，并成为英语语言的正式词语。

辛顿的立方体在妇女杂志上被广泛宣传，甚至被用在降神会上。在降神会上，它们很快成为不可思议的神秘的重要物体。高等社会的成员声称，通过对辛顿立方体沉思默想就可以看到第四维度，因此，可以看到鬼的幽冥世界和亲人的离去。他的门徒花上几个小时对这些立方体沉思和冥想，直到他们能够通过四维在精神上重新排列和组装这些立方体成为一个超立方体。据说，那些可以完成这种特异功能的人将达到涅槃的最高境界。

作为类比，我们用三维立方体做实验。虽然一个平面居民不能想象这个立方体的全部，但对我们来说，可以在三维中将这个立方体解开，这样就出现了一个呈“十”字形的六个正方形的系列。当然，一个平面居民不能组装这些方形并将其制成一个立方体。在二维中，每个正方形之间的接缝是僵硬的且不能移动的。然而，这些关节在第三维度却很容易弯曲。一位见证这一事件的平面居民会看到方块消失了，在他的宇宙中只留下一个正方形（图3.6）。

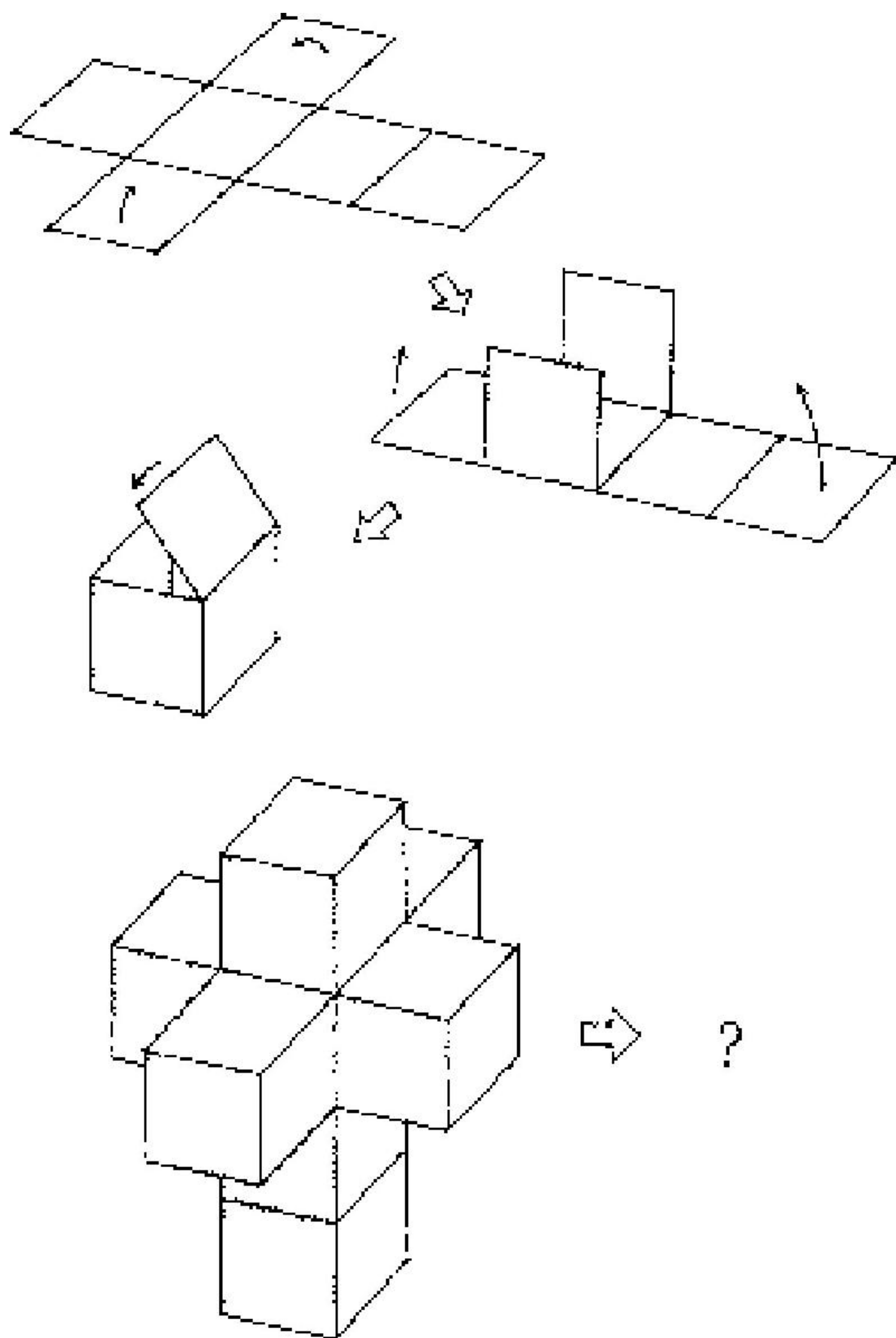


图3.6　平面居民不能可视化一个立方体，但他们可以对拆解后的三维立方体实现可视化与概念化。对平面居民来说，一个立方体解开之后像一个由6个方块组成的“十”字。同理，我们不能可视化一个四维超立方体，但如果我们将超立方体拆解，就能看到呈“十”字状排列的6个立方体。尽管我们三维人认为由超立方体分解而来的立方体看上去是无法移动的，但四维人却可以将这些立方体轻松地组装成超立方体。

同理，四维中的超立方体不能被我们可视化。但我们可以把超立方

体分解成它的较低的组件——普通的三维立方体。反过来，这些立方体可以排列成三维十字，成为一个超正方体。我们不可能想象如何将这些立方体组装起来形成超立方体。然而，一个更高维度的人可以把每个立方体“提”出我们宇宙，然后再组装这些立方体形成超立方体。（我们的三维眼睛在观察这个事件时，只会看到其他立方体逐个消失，在我们的宇宙中只留下一个立方体。）辛顿的影响是如此普遍，以至萨尔瓦多·达利（Salvadore Dali）在他著名的画《克里斯蒂超立方体》中引用了辛顿的超正方体。此画展示在纽约大都会艺术博物馆中，它描绘了基督被钉在四维的十字架上（图3.7）。

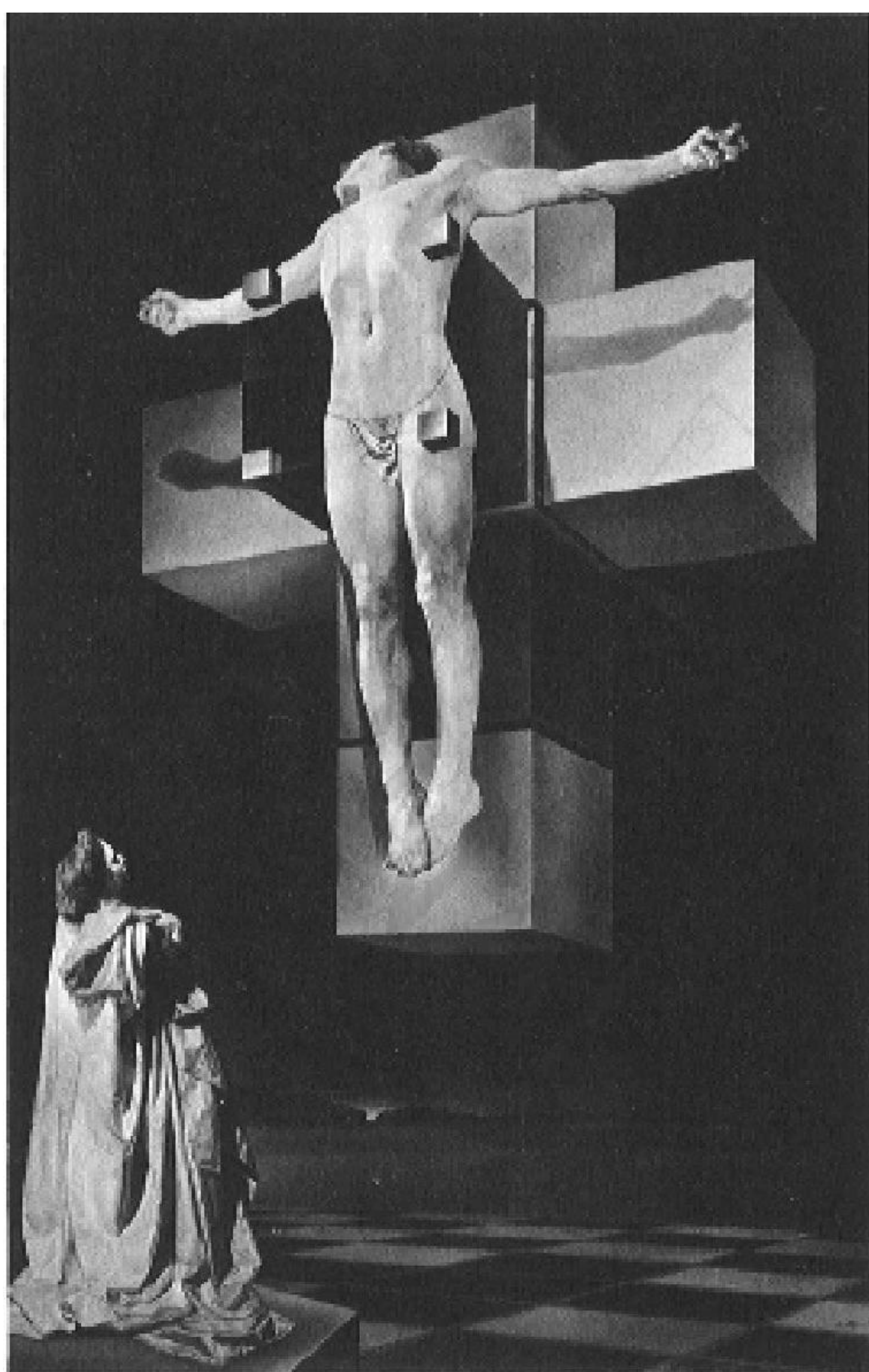
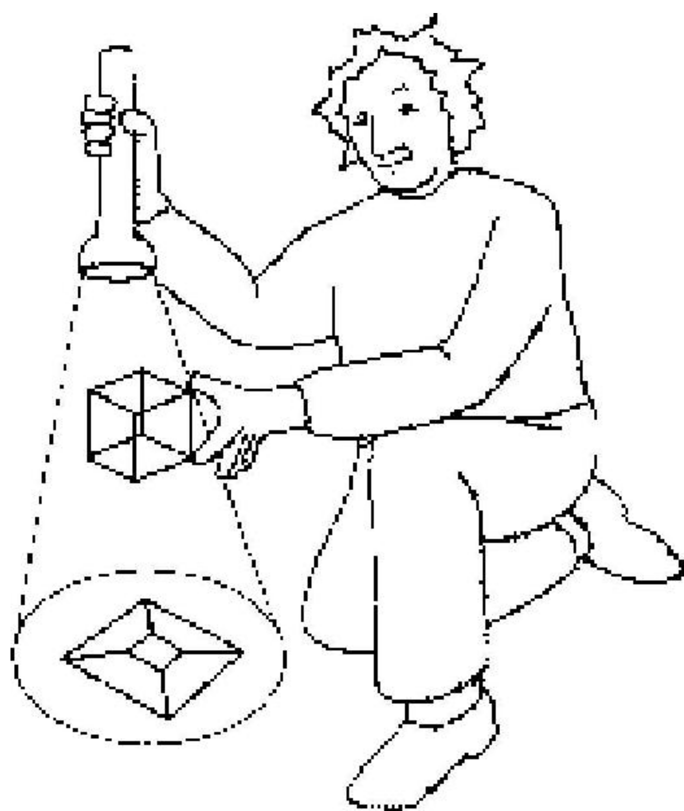


图3.7　在《克里斯蒂超立方体》中，萨尔瓦多·达利描绘基督被钉在一个超正方体上，这是一个被解开的超立方体。

辛顿还知道另一种可视化高维对象的方法：通过观察他们投射在较低维度的阴影得以实现。例如，一个平面居民可以通过看一个立方体在

二维投下的影子来想象这个立方体。一个立方体看上去像两个方块连接在一起。同样，一个超立方体在三维中的影子是一个立方体套在一个立方体之中（图3.8）。



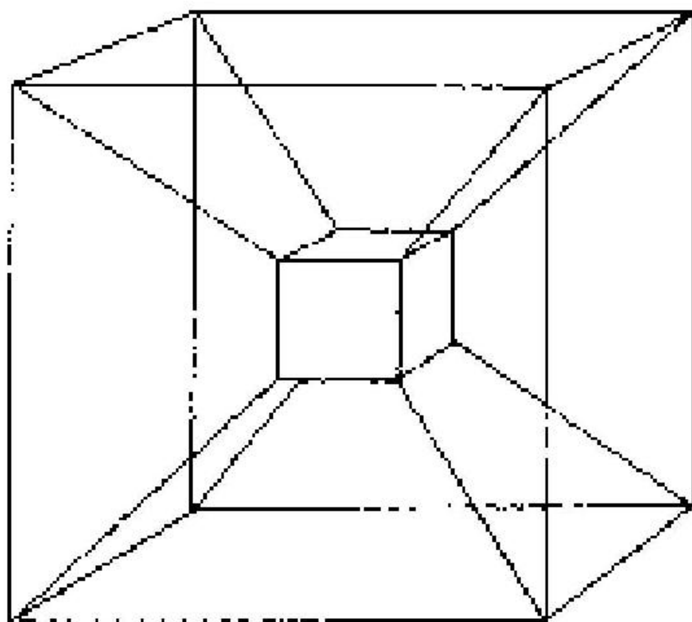


图3.8　平地居民可以通过考查一个立方体的影子想象它的可视化效果，这些影子看似一个正方

形中的正方形。如果立方体转动，这些正方形也会跟着移动，对平地居民来说这看上去是不可能的。类似地，超立方体的影子是一个立方体中的一个立方体。如果超立方体在四维中转动，这些立方体也会跟着移动，对我们的三维大脑来说这似乎是不可能的。

除了可视化解开的超立方体和考查它们的影子，辛顿还知道第三种概念化四维的方法：通过横截面认识第四维度。例如，方先生被送到三维后，他的眼睛只能看到三维物体的二维横切面。这样，他只能看到圆出现，变大，改变颜色，最终消失。如果方先生从一个苹果旁边走过，他会看到一个红圈不知道从哪儿跑出来，逐渐变大然后收缩，最后回到小棕色的圈（茎）之后消失。类推，辛顿认为，如果我们被抛向四维，我们会看到奇怪的物体不知道从哪儿突然跑出来，变大，改变颜色，改变形状，变小，最终消失。

总起来说，辛顿的贡献是他推广高维图形所用的三种方法：考查它们的影子、横截面、解开体。直到今天，这三种方法仍然是专业数学家和物理学家在他们的工作中概念化高维物体的方法。这些现代科学家的图表出现在当今物理杂志上，他们应该深深感谢辛顿的工作。



在第四维中的竞争

辛顿在他的文章中几乎回答了所有可能会被提出的问题。当人们要他为四维命名时，他用“ana”和“hala”来描述四维中的运动，与三维中的“up（上）”和“down（下）”，或“left（左）”和“right（右）”相应。当问他四维在哪儿时，他也准备好了答案。

现在让我们想象在一个关闭的房间中香烟的烟的运动。因为烟的分子按照热力学定律会扩散到房间中每一个可能的位置，我们希望确定是否存在一些没有烟分子的三维空间区域。然而，实验结果告诉我们，并不存在这样的隐藏区域。因此，如果第四空间维度确实存在，它只能比烟分子的尺寸更小。如果第四空间维度确实存在，它一定是难以置信的小，甚至比原子还小。这是辛顿的哲学，即我们三维宇宙中存在的所有物体都存在于四维宇宙中。但四维宇宙又是如此之小，小到任何实验都不能观察到它。（今天的大多数物理学家也几乎都采用辛顿的说法，认为高维非常小，以至于我们无法看到。当有人问光是什么时，他也有自己的回答。辛顿追寻黎曼，相信光是看不见的四维的振动，这是今天很多理论物理学家采取的基本观点。）

在美国，辛顿独自一人点燃了大众对四维的兴趣。流行杂志如《哈珀周刊》、《麦克卢尔》（*McClure*）、《流行文学》、《大众科学周刊》，都不惜版面地鼓动着人们对四维的兴趣。但是确保辛顿在美国的名誉的是《科学美国人》在1909年发起的著名竞赛。这个不同寻常的竞赛提供了一个500美元的奖金（在1909年，这是很大一笔资金）给对四维做出最通俗且正确解释的人。杂志的编辑高兴且吃惊地收到像洪水泛滥一样的来信，包括来自远至土耳其、奥地利、荷兰、印度、澳大利亚、法国和德国参加竞赛的人。

竞赛的目标是在不超过2500字的论文中，给出四维这个名词的意义，让普通的读者能明白。它吸引了大量严肃的论文。有些人哀叹像佐尔拉和斯莱德这样的人将四维和唯心论混为一谈，从而玷污了四维的声誉。然而，很多论文承认辛顿在有关四维问题上所做的前锋工作。（奇怪的是，没有一篇论文提到爱因斯坦的工作。1909年，人们还不清楚爱因斯坦发现了空间和时间的秘密。事实上，当时没有一篇论文提到时间作为四维的思想。）

缺乏实验的证实，《科学美国人》竞赛肯定不能解决高维的存在性问题。但这次竞赛确实讨论了高维物体看上去可能呈现为什么样子的问题。



来自四维的怪兽

遇见一个高维来的怪兽会是什么样子？

去其他维假想的访问会有怎样的惊奇和激动，也许最好的解释方法是通过科幻小说来描绘，作家会试图抓住这个问题的关键。

作家纳尔逊·邦德（Nelson　Bond）在他的小说《不知从哪来的人》中试图想象一个在拉丁美洲丛林里的探险家遇到一个来自高维的野兽会发生什么的故事。

我们的英雄是探险家伯奇·帕特森（Burch　Patterson）。他是一位美食家，也是一位幸运的士兵。他忽然有了一个想法，要在秘鲁的高山上捕获野兽。各个动物园为探险队支付费用，为这次旅行提供资金，从而换取帕特森能发现的新的动物。当旅行的行程步入尚未开发的领地，报纸开始喧嚣地和大张旗鼓地报道探险队的行程与消息。几周之后，探险队和外界失去了联系，没有任何踪迹地神秘地消失了。经过长期的徒劳的搜索，官方不情愿地宣布探险者死亡。

两年后，伯奇·帕特森突然出现了。他秘密地会见记者，告诉他们一个令人惊奇的具有悲剧色彩和英雄气概的故事。就在探险队消失之前，在上秘鲁的马拉坦高原出现了一个奇怪的动物，一个超自然的像豹子一样的生物，不断地以最奇特的方式改变形状。这些黑豹翱翔在半空，忽而消失忽而出现，它们的形状和大小不断发生改变。之后，出人意料地攻击探险队，吃掉了探险队中的大多数人。这些黑豹把剩下的人抛向空中，它们嘶叫着消失在空中。

只有伯奇从混乱中逃出。他茫然又害怕，尽管如此，他远距离地研究这些豹子，逐渐形成了“它们是什么”和“如何捕获它们”的理念。几年前他读了《平地居民》，并想象任何人把他的手指戳进和抽出平地，都会使二维居民大吃一惊。平地居民会看见有节奏地舒张及收缩的肉环翱翔在半空中（我们的手指戳进平地）且不断改变大小。同样，帕特森推理到，任何高维生物把它们的脚或胳膊伸进我们的宇宙，就会以三维的活生生的肌肉丰满的豹子形象出现。我们不知道它们是从哪儿出来的，它们不断改变形状和大小。这也解释了为什么伯奇团队的成员消失了，因为他们被拽到高维空间中去了。

但仍有一个问题困扰着他。怎样才能捕获高维生物呢？如果一个平面居民看见一个手指戳进了他的二维世界，他如果试图抓住这个手指，

他会失败。如果他试图套住我们的手指，我们可以抽出手指，并在他的世界中消失。类似地，帕特森推理，他可以放一张网，网住这些生物中的一个，但是这个高维生物也可以把它的手指或脚抽出我们的宇宙，这个网就失效了。

突然间，帕特森找到了答案。如果一个平面居民试图在我们将手指戳进平地时捕捉手指，他可以将一根针刺进这个手指，把它痛苦地钉在二维宇宙中。帕特森的策略就是将一根长钉扎进一个豹子中，把这个生物钉在我们的宇宙中。

帕特森在对这个生物观察数月之后，他识别出了这个生物的脚印。他将一把叉插进了这个生物的身体。他用了两年时间捕获这个生物，并把这个因极度痛苦而扭来扭去，不断挣扎的生物运回新泽西州。

最后，帕特森申明要召开一个盛大的新闻发布会，他将揭示在秘鲁捕捉的这个奇怪的生物。当新闻工作者和科学家看到这个生物极其痛苦地被穿在一个大铁棒中扭来扭去时，他们惊恐得喘不过气来。像电影《金刚》中的场景一样，一位报社记者违规用闪光灯拍摄这个生物的照片。闪光激怒了这个生物，它奋力挣扎，铁杆周围的肉撕裂了。突然，这个生物自由了。人们被撕成碎片，帕特森和其他人被这个生物抓住，然后消失在第四维中。

在悲剧的余波中，一位大屠杀的幸存者决定烧掉所有这个生物的证据。最好让这个秘密永远无法解开。



建一个四维的房间

在上一节中，我们探索了我们在自己的世界遇到高维生物探访时所发生的问题。但在相反的情况下，当我们访问高维宇宙时又会发生什么呢？如上所述，一个平地居民不可能整体可视化一个三维宇宙。然而，正如辛顿指出的，平地居民可以利用几种方法来理解高维宇宙暴露的片段。

罗伯特·海因莱因（Robert Heinlein）在他的短篇小说《造一个扭歪的房子》中探索了生活在解开的超立方体中的各种可能性。

昆塔斯·蒂尔（Quintus Teal）是一个傲慢的爱张扬的建造师，他的雄心是要建一个全新样式的房子：一个超正方体，一个在三维中展开的超立方体。他诱骗他的朋友贝利夫妇购买这个房子。

这个房子建在美国洛杉矶，这个超正方体由八个超现代的立方体组成，这些立方体一个叠一个堆放成“十”字形。不幸的是，就在蒂尔要将他的新创造介绍给贝利时，美国南加州发生了地震导致这栋房屋倒塌了。立方块开始倾倒，但奇怪的是只有一个立方块留下来，还站在那儿。其他的立方块神秘地消失了。当蒂尔和贝利小心地走进房间，现在只有单独的一个立方体了，他们吃惊地发现从一楼的窗户可以清楚地看到其他丢失的房间。但这是不可想象的。这个房子现在只有单独的一个立方体。一个立方体的内部怎么可能与从外面无法看见的其他一系列立方体连接起来呢？

他们爬上楼梯，在通道入口上发现了主人的主卧室。然而，他们没有发现第三层楼，而是发现他们又回到了一楼。贝利以为闹鬼了，吓得跑到前门。结果前门不是通到外面，而是通到另一个房间。贝利夫人吓晕了过去。

当他们探查这个房子时，他们发现每一个房间都和不可能的一系列其他的房间连在一起。在原来的房子里，每一个立方体都有一个观看外面的窗户。现在，所有的窗户都面对其他的房间，没有外面可言。

他们被吓得魂飞魄散，慢慢地试着打开房间所有的门，结果发现自己永远在其他房间绕来绕去。最后，在书房里，他们决定打开四个软百叶帘向外看。打开第一个软百叶帘，他们发现自己正俯视着帝国大厦。显然，那个窗口接通着恰好在塔顶上空的另一个空间的窗口。他们打开第二个软百叶帘，发现对着一个上下颠倒的辽阔的海洋。他们打开第三

个软百叶帘，发现什么也没有。不是空洞的空间，也不是漆黑一团，而是什么都没有。他们打开最后一个软百叶帘，发现对着一片荒凉的沙漠景观，与火星上的景观非常相似。

他们恐怖地搜索房子的各个房间，每一间都不可思议地与其他房间相连。蒂尔最终搞明白了。他推测，地震一定是毁坏了各个立方体的连接，并在四维空间中将这些立方体合在了一起。[14]

在外面，蒂尔的房子原来看上去与一个普通的立方体并无区别。由于在三维中正方块之间的连接是刚性的和稳定的，所以房子没有崩溃。然而，从四维的观点看，蒂尔的房子是一个解开的超立方体，可以重新组装或合并到一个超立方体。这样，当地震发生时，房子摇动，它不知怎么就在四维中合在一起，只留下一个立方体在我们三维中晃来晃去。任何人走进这个单一的剩余的立方体都会看到一系列房间以一种不可理解的方式连接在一起。蒂尔不经意间就跑遍了各个房间，事实上，他已经进入了四维。

看到这里，我们的主人公似乎注定要在这里度过他们的余生，在超立方体中无望地徘徊兜圈子。但另一次猛烈的地震摇动着这个超立方体。蒂尔和吓坏了的贝利屏住呼吸，跳出最近的窗户。当他们着地时，发现自己已身处距离洛杉矶几英里远的约书亚树国家纪念馆中。几小时后，他们搭便车回到这个房子，发现最后剩余的那个房间也不见了。超立方体到哪儿去了？它也许飘进了四维中。



无用的四维

回顾往事，黎曼著名的讲演通过神秘主义者、哲学家、艺术家，逐渐普及到大众中。但这对我们进一步理解自然却并无多少帮助。从现代物理学的观点看，我们也能看到为什么从1860至1905年以来，我们在超空间的认识中始终难以取得实质性的突破。

首先，没有人试图利用超空间简化自然定律。因为没有黎曼原创的原理指导——在高维空间中自然定律变得简单——所以这个时期的科学家一直停留在黑暗中摸索。在这些年中，黎曼的重要思想，利用几何（也即利用超空间皱褶）解释“力”的存在被人们遗忘了。

其次，没有人试图利用法拉第的场概念或黎曼的度规张量去发现高维所遵循的场方程。黎曼建立的数学工具变成了纯粹的数学领地，背离了黎曼最初的意图。没有场论就不能用超空间做出任何预测。

因此，到了20世纪末21世纪初，怀疑者声称（有正当理由）没有四维的实验证据。更糟糕的是，他们声称四维只是用鬼故事让公众感到兴奋，实际上，根本没有引进四维的物理动机。然而，这种可悲的情景不久就发生了改变。在仅仅几十年时间内，四维理论（包括时间）永远地改变了人类历史的进程。它给了我们原子弹和创世本身的理论。完成这个工作的人在当时还是一位默默无闻的物理学家，他的名字就是阿尔伯特·爱因斯坦（Albert Einstein）。

4　光的秘密：四维中的振动

按我的期待，如果（相对论）被证明是正确的，那么他（爱因斯坦）将被认为是20世纪的哥白尼。

——马克思·普朗克评论阿尔伯特·爱因斯坦

阿尔伯特·爱因斯坦的一生似乎是一长串的失败和失望。甚至他的妈妈也为他很费劲才学会说话而感到沮丧。他的小学老师认为他是愚蠢的梦想家。他们抱怨他总是用愚蠢的问题打乱课堂的秩序。一位老师甚至直言地告诉孩子们，他情愿让爱因斯坦退学。

爱因斯坦在学校里的朋友很少。他对学校里的课程失去了兴趣，在高中时退学了。由于没有高中文凭，他不得不参加特殊考试才有机会进入大学。但实际情况是他的第一次考试并未通过，不得不参加第二次考试。由于扁平足的问题，他甚至在瑞士的陆军军校的考试中也未被录取。

他在大学毕业后一直没有找到合适的工作。他是一个失业的物理学家。虽然他通过了大学教师职位的考试，但他申请的每一个地方都拒绝给他提供工作的机会。他给一个学生当家教赚取可怜的每小时3法郎的家教费。他告诉他的朋友莫里斯·索罗文（Maurice Solovine），“最容易的挣钱方式是在公众场合拉小提琴”。

爱因斯坦拒绝追逐权力和金钱，而这却是大多数人追求的东西。他曾经悲观地写道，“只是由于胃的存在，人们注定要参与那种追逐”。最后，他通过一个朋友的影响，才得以在伯尔尼的瑞士专利局得到一个低级办事员的工作。在那里，他赚的薪水勉强能维持自己的生活，不再需要他父母的支持。依靠微薄的薪水，他养活了他年轻的妻子和新生的婴儿。

在缺乏资金、缺乏科研机构联系的条件下，爱因斯坦单枪匹马地在专利局开始了自己的研究工作。在处理专利申请的空隙间，年轻的爱因斯坦的思绪飘向了他感兴趣的问题之中。然后，他担起一项任务最终改变了人类历史的进程。他使用的工具就是第四维度。



孩子的问题

爱因斯坦天才的本质是什么？雅各伯·布鲁诺斯基（Jacob Bronowski）在他的著作《人类的攀升——科学进化史》中写道：“像牛顿和爱因斯坦这样的天才在于他们能提出清澈的、天真无邪的问题，最后得出这些问题具有重大影响力的答案。爱因斯坦是一个能提出非常简单问题的人。”当爱因斯坦还是孩子的时候，他会自问一些看似非常简单的问题：如果一个人能追上光，那么这束光看上去会是什么样子的呢？你会看见一束稳定的波冻结在时间中吗？这些问题让他开始了长达50年的探索空间和时间的奥秘之旅。

想象自己坐在一辆飞驰的汽车里，正超越另一辆列车。如果我们猛踩油门，我们的汽车与列车肩并肩地前行。我们可以看到列车的内部，这列车仿佛是静止的，我们可以看到列车里的座位和乘客，列车似乎没有运动。同样地，爱因斯坦作为一个孩子想象自己正与一条光束旅行。他想，这条光束应该像一系列的稳定的波，在时间上是冻结的，即这条光束看上去应该是静止的。

爱因斯坦16岁的时候，就看出了这种论证的漏洞。他后来回忆：

> 在经历了10年的思考之后，我从在我16岁时就引起我注意的矛盾中得出了这样一个结论：如果我以真空中的光速c追逐一条光束，我可以看到这条光束在空间中震荡的电磁场是静止的。然而，无论是根据实验还是根据麦克斯韦方程，似乎都不存在这样的事情。

在大学里，爱因斯坦证实了他的怀疑。他知道，光可以用法拉第的电场和磁场表示，并且这些场都服从于詹姆斯·克拉克·麦克斯韦发现的场方程。正如他猜测的那样，他发现静止的、冻结的波是麦克斯韦场方程所不允许的。事实上，爱因斯坦发现，不论我们多么辛劳地追赶光束，这条光束总是以同样的速度c前进。

乍看起来，这似乎非常荒谬。这意味着我们永远无法超越光束这列“火车”。更糟糕的是，无论我们把汽车驾驶得多快，这列“火车”似乎总在我们前面以同一个速度前行。换句话说，光束就像老水手们常讲述的有关“幽灵船”的故事。这是一个永远无法捕捉的幽灵船。不论我们如何快速航行，幽灵船总是躲着我们，嘲笑着我们。

1905年，因为爱因斯坦在专利局的时间非常充裕，他仔细分析了麦

克斯韦场方程并得出了“狭义相对论”原理：光在真空中的各个方向上传播速度（即单向光速）的大小均相同（即光速各向同性），光速同光源的运动状态和观察者所处的惯性系无关。这个听起来很单纯的原则是人类思想的最大成就之一。有人说人类在地球上进化的200万年中，作为人的心智最伟大的科学创造之一的狭义相对论，与牛顿的万有引力定律并驾齐驱。根据狭义相对论，我们能条理分明地解开恒星和星系释放巨大能量的秘密。

为了弄清这个简单的陈述如何能得出如此深刻的结论，让我们回到汽车试图超越火车的类比案例。例如，一个行人在人行道上测量我们驾驶的汽车车速为每小时99英里（159公里），火车行驶速度为每小时100英里（161公里）。我们从自己驾驶的汽车里的角度向外观察，我们会发现火车在我们前面以每小时1英里（1.61公里）的速度行驶。这是因为速度可以像普通数字一样实现加减。

现在让我们用光线代替火车。假定光的速度为每小时100英里，行人测量我们汽车的速度仍是每小时99英里。汽车正在追赶速度为每小时100英里的光线。根据行人的观点，我们应该接近这条光束。然而，根据相对论的观点，我们在车上实际看到在我们前面的光束并非以预期的每小时1英里前行，而是以每小时100英里的速度飞驰。显然，我们看到光束在我们前面飞跑，就好像我们是静止不动一样。我们不相信自己的眼睛，继续踩油门让我们的车速达到每小时99.99999英里。我们可以肯定地认为就要超越光束了。然而，当我们向车窗外望去，我们看到光束仍以每小时100英里的速度飞驰。

我们忧虑地得出了一些奇怪的令人不安的结论。首先，行人告诉我们，无论我们给汽车加多大的油，汽车也只能无限接近每小时100英里的速度而不能达到这个数值，这似乎是汽车的最高速度。第二，无论我们如何接近每小时100英里，我们仍然看到光束在我们前面以每小时100英里的速度急速前进，好像我们是静止的。

但这是荒谬的。在飞驰的汽车里的人和静止的人测量的光束的速度怎会是一样的呢？通常情况下，这是不可能的。这似乎是大自然的天大的玩笑。

解决这个悖论只有一条出路。我们自然地引导得出一个惊人而震撼的结论。当爱因斯坦第一次意识到它时，他震撼了。解决这个困惑的唯一办法是——对于汽车中的我们而言，时间变慢了。如果行人用望远镜盯住我们的汽车，他会发现汽车里的每个人的移动都异常缓慢。然而，我们在车上的人却丝毫不曾注意到时间慢下来了，因为我们的大脑也慢下来了，一切对我们来说都是正常状态。此外，行人看见汽车在前进的方向上变得扁平，汽车像手风琴一样缩拢起来。然而，我们从未感觉到这个效应，因为我们的身体也缩小了。

空间和时间在捉弄我们。在实际的实验中，科学家已经证明，不管

我们的行进速度有多快，光的速度永远是c。这是因为我们的行进速度越快，我们的时钟就嘀嗒得越慢，我们的尺子就变得越短。事实上，我们的时钟慢了下来，我们的尺子收缩得恰好使得我们无论什么时候测量速度，得出的光速都相同。

但我们为何不能看到或感觉到这种效果呢？因为当我们接近光速时，我们的大脑思考也变得更慢了，我们的身体也变得越来越薄。我们在无忧无虑中变成了迟钝的薄煎饼，而我们却丝毫不曾察觉。

当然，这些相对论效应影响太小，我们很难在日常生活中看到，因为光的速度实在太快了。然而，作为一个纽约人，每当我在地铁站等地铁的时候我都会想起空间和时间这种迷人的扭曲。当我在地铁站的站台上无事可做时，我会让自己的想象力自由飞翔。我想：如果光的速度与地铁列车的速度相同，即每小时30英里（48公里）会出现一种什么状态。结果是，当列车咆哮进站时，它看上去就像一个被挤扁了的手风琴。我想象列车会收缩成1英尺厚的扁的金属板，沿着轨道高速行驶，地铁车厢里的乘客薄得像一张纸。他们的时间实际上已经冻结了，他们仿佛是静止的雕像。然而，当列车喘着气停下来时，列车突然膨胀了，直到这块金属厚板逐渐占满整个车站。

与这种扭曲一样荒谬的是，列车上的乘客对此改变完全没有察觉。他们的身体和周围的空间将沿着列车前进的方向收缩，一切似乎都处在正常状态。此外，他们的大脑也会慢下来，这样列车内的每个人的行动都变得正常。当地铁列车安全地进站并停在站台上时，车里的乘客并不知道站台上的人看见列车神奇般地膨胀了，直到占满整个站台。当乘客离开列车时，他们浑然不觉狭义相对论所要求的这种深奥变化。（同样地，列车上的乘客会认为列车是静止的，地铁站相对列车迎面而来。他们会看到站台和站台上的人压缩成手风琴的样子。这就产生了一个矛盾，列车上的人和站台上的人都认为对方被压缩了。这个矛盾的解决有点辣手。[15]）



第四维度和高中同学聚会

当然，对爱因斯坦理论的通俗解释多得数不胜数，它们强调了爱因斯坦工作的不同方面。然而，鲜有解释捕捉到狭义相对论背后的本质——时间是第四维度，自然法则在更高维度被简化和统一。引进时间为第四维度推翻了可以追溯到亚里士多德时代的时间概念。空间和时间将永远通过狭义相对论辩证地连接起来。（佐尔拉和辛顿都认为下一个将被发现的维度是第四空间维。在这点上，他们是错误的，威尔斯是正确的。下一个将被发现的维度是时间，一个第四时间维。要对第四个空间维的认识有进展，还必须再等上几十年。）

想弄明白高维是如何简化自然定律的，我们可以首先回忆一下三维物体的长度、宽度、高度。如果我们自由地将物体旋转90度，就可以把它们的长度变为宽度、宽度变为高度。通过简单的旋转操作，我们可以对空间中的三个维度进行自由交换。现在，如果时间是第四维度，那么，通过“旋转”也可能实现空间与时间的转换。这些四维的“旋转”正是狭义相对论要求的时空扭曲。换句话说，空间和时间以一种受相对论支配的本质的方式混合在一起。时间作为第四维度的意义就在于，时间和空间可以用数学上精确的方式彼此旋转。从现在起，时间和空间必须被视为时-空这同一个量的两个方面来看待。因此，增加一个更高维度有助于统一自然法则。

牛顿在300年前认为时间在宇宙中的任何地方以同样的节拍在跳动。无论是地球上、火星上，还是遥远的恒星上，时钟将以同样的速率嘀嗒作响。人们认为，在整个宇宙中时间是以绝对均匀的节奏推移的。时间和空间之间的旋转是不可想象的。时间和空间是两个不同的量，它们之间没有关系。把它们统一成一个量是不可想象的。然而，根据狭义相对论，时间可以以不同的速率跳动，时间的快慢取决于物体移动速度的快慢。时间是第四维度意味着，时间与空间中的运动有着内在联系。时钟嘀嗒的速度快慢取决于它在太空中移动的速度的快慢。我们用送入环绕地球轨道上运行的原子钟做的精确实验证实，地球上的时钟与发射到外层空间中火箭里的时钟以不同的速率嘀嗒走着。

当我参加高中同学的20年聚会时，我生动地想起相对性原理。虽然毕业后大多数同学都未曾见面，但我认为他们都会显示出与我相同的老化迹象。正如我的预期，我们大多数人在聚会时都宽慰地发现，我们的老化过程是相同的：鬓角灰了、腰围大了、脸上添了几条皱纹。虽然我们在空间上相距几千英里，在时间上也分开了20年，但我们都认为时间对我们而言是均匀流逝的。我们不假思索地认为，人人都以同样的速率

老化。

一个想法在我的脑海里徘徊。我想象，如果聚会中有一个同学与他20年前毕业时的模样完全相同会引发怎样的场景。结果是，他会使同学们大吃一惊，他是20年前我们认识的那个同学吗？当大家确定了他正是20年前的那个同学时，整个大厅会涌现出一片恐慌。

我们被这次相遇震惊了，因为我们在传统认知中都心照不宣地默认时钟在任何地方都是以同样的速率跳动的，哪怕是相距遥远。然而，如果时间是第四维度，那么空间和时间就可以实现彼此旋转。时钟可以以不同的速率跳动，这取决于时钟移动速度的快慢。例如，这个同学可能进入了一个接近光速的火箭。对我们来说，火箭之旅可能持续了20年。然而，对他来说，因为在飞驰的火箭里时间变慢了，从毕业那天算起他仅仅衰老了几分钟。对他来说，他刚进入火箭，火箭加速进入外层空间几分钟后就回到了地球上。在一个短暂的、愉快的旅程之后，他及时地参加了曾经的高中同学们组织的20年聚会，这时的他在一群灰白头发的同学中仍显年轻。

每当我回想自己第一次遇到麦克斯韦场方程时的情景，就会想起第四维度简化了自然定律的法则。每个学习电磁理论的大学生都要花费好几年的时间才能掌握这八个相当难看的晦涩抽象的方程。麦克斯韦的八个方程臃肿而难以记忆，因为时间和空间是被分别处理的。（至今，我不得不在书中查阅它们，以确保得到所有的标志和符号是正确的。）我现在仍清晰地记得，当我学会将这些方程转化成一个看起来十分普通的方程时，我的心情有多么地松弛，此时时间是被作为第四维度来处理的。就这么精彩的一笔，第四维度就把这些方程简化成一个美妙且一目了然的形式。[16]用这种形式书写，方程具有高度的对称性，即空间和时间可以彼此转变。麦克斯韦场方程像一片美丽的雪花。当我们把雪花绕着它的轴心旋转时，它保持着原样；我们将麦克斯韦场方程用相对论的形式书写，如果我们将空间旋转成时间，它仍然保持为原来的形式。

值得注意的是，以相对论的方式写成的这一简单方程与100年前麦克斯韦写下的八个方程一样包含了相同的物理内容。这一方程，反过来控制了发电机、雷达、无线电、电视、激光、家用电器，和出现在人们客厅里的诸多其他消费电子产品的性质。这是我第一次接触到物理学之美，思维空间的对称性能解释足以充满一座工程学图书馆的海量物理知识。

这里，再次展示了本书的主题：添加高维有助于简化和统一自然定律。



物质是凝聚的能量

到目前为止，统一自然定律的讨论还是相当抽象的。在爱因斯坦走出下一个决定命运的步伐之前，一直维持着这样的一种情况。爱因斯坦意识到，如果空间和时间可以统一成一个单一的实体，称为“空间-时间”。那么，也许物质和能量也能被辩证地统一起来。他推测，如果尺子可以收缩，时钟可以变慢，那么我们用尺子和时钟测量的每一种东西也必将发生改变。然而，在物理学家的实验室里，几乎所有的东西都要通过尺子和时钟进行测量。这意味着，物理学家们不得不重新标定所有的曾经被认为是恒定的实验室的量。

特别是能量，它是一个依赖于我们测量的长度与时间间隔的物理量。一辆飞速前进的试验汽车猛然地撞进砖墙，显然，它具有能量。然而，如果飞速行驶的汽车的速度无限接近光速，它的性质就扭曲了。它像手风琴一样收缩，它里面的钟也开始走得越来越慢。

更重要的是，爱因斯坦发现，汽车的质量随着汽车速度的提高而增大。但这多余的质量从何而来？爱因斯坦得出结论，它来自能量。

这就产生了一些令人不安的后果。19世纪物理学的两个伟大发现是质量守恒和能量守恒定律。也就是说，一个封闭系统的总质量和总能量分别保持不变。如果飞驰的车撞击砖墙，汽车的能量不会消失，而是转换成碰撞的声能、飞砖碎片的动能、热能等。总能量（和总质量）撞车前后是一致的。

然而，爱因斯坦现在却表示，汽车的能量可以转换成质量——一个新的守恒定律——质量加上能量的总和保持不变。物质不会突然消失，能量也不会凭空产生。在这一点上，上帝是错误的，而列宁是正确的。物质的消失以释放大量能量为代价，反之亦然。

爱因斯坦26岁时，他就精确地计算出了能量的变化关系，而且发现了关系式$E = mc2$。由于光速的平方（$c2$）是一个巨大的天文数字，因此少量的物质就可以释放出大量的能量。封存在最小的物质粒子中的能量超过了一次化学爆炸所能释放能量的100万倍。从某种意义上看，物质可以看作一个几乎消耗不尽的能量库——物质是凝聚的能量。

在这方面，我们发现了数学家查理斯·辛顿和物理学家阿尔伯特·爱因斯坦的工作之间的深刻差异。辛顿花费了他的大部分成年时间试图使更高的空间维变得形象化。他对给第四维度找一个物理解释不感兴趣。然

而，爱因斯坦看到第四维度可以作为一个时间的维度。指引他前行的是一种信念和物理直觉——高维的目标在于统一自然法则。通过增加更高的维度，他可以统一在三维世界中那些看似没有联系的物理概念，如物质和能量。

从那时起，物质和能量的概念被当作一个整体：物质-能量（质能）。当然，爱因斯坦有关第四维的工作最直接的反映就是氢弹，它被证明是20世纪科学最强大的创作。



我生活中的最幸福的思想

然而，爱因斯坦并不满意。虽然他靠狭义相对论就能保证他在物理学巨人中占有一席之地，但他认为还有什么遗漏的东西。

爱因斯坦的关键洞察力是，他通过在第四维度中引入两个新概念统一了自然定律："空间-时间"、"物质-能量"。虽然他已经解开了一些自然界中极为深奥的秘密，但他也同时意识到自己的理论存在漏洞，即这两个新概念之间的关系是什么？更明确地说，在狭义相对论中，被人们忽略的加速度有什么影响？还有万有引力呢？

他的朋友马克思·普朗克，量子理论的创始人，劝告年轻的爱因斯坦，他认为引力问题太难了。普朗克告诉他，他的雄心太大了："作为老朋友，我劝告你最好别碰引力问题。首先，你不会成功；即使你成功了，也难以得到大家的信任。"然而，爱因斯坦却一头扎了进去，希望揭开引力之谜。再次，他的重要发现的关键在于"自问只有孩子才会提及的问题"。

当孩子乘坐电梯时，他们有时会紧张地提问，"绳子断了怎么办？"回答是，"你将处于失重状态，就像置身外太空那样飘浮在电梯内，你和电梯都以同样的速度下降。此时的你和电梯都在地球的引力场中加速，且拥有相同的加速度（电梯不会为你提供一个向上的支撑力），因此，你在电梯中仿佛失去了重量。"（至少在到达通风井的底部之前）

1907年，爱因斯坦意识到飘浮在电梯中的人可能会猜想有人神秘地关闭了引力。爱因斯坦曾回忆说，"我正坐在伯尼尔专利局的办公椅上，一个思想突然出现在我的脑海中。这个思想就是：'如果一个人自由下落，他将不会感觉到自己的重量。'我大吃一惊。这个简单的想法在我脑海中留下了深刻印象。它促使我得出了一个引力理论。"爱因斯坦称它为"我一生中最幸福的想法"。

反之，他知道在加速上升火箭中的人会感到有一种力将他推到他的座位上，好像存在一股引力在拉他。（事实上，我们宇航员感受到的加速度按惯例是用g来测量，即地球引力的倍数。）他得出的结论是：在加速上升的火箭中，被加速的人可能会认为这些力是引力造成的。

通过这个孩子般的问题，爱因斯坦抓住了引力的根本性质：在一个加速框架中的自然定律等效于引力场中的自然定律。这个简单的原理被

称为等效原理。在普通人眼里，这可能并不意味着什么，但在爱因斯坦的手中，它成为一个宇宙理论的基础。

（这个等效原理也给出了复杂的物理问题的简单解答。例如，我们都手持着一个氦气球坐在行驶着的汽车里。汽车突然左急转弯，我们的身体会向右倾，但气球会向哪边移动呢？常识告诉我们，气球会像我们的身体一样向右移动。这个微妙问题的正确解答甚至难住了经验丰富的物理学家。这个问题的答案需要用到等效原理。设想有一个引力场从右边拉拽这辆车。引力使我们突然向右倾斜，而氦气球比空气轻，它总是逆着引力的拉拽“向上”飘浮。因此，它必定会向左飘浮，与引力的拉动方向相反。这与我们的常识相反。）

爱因斯坦利用等效原理解决了长期存在的光束是否受引力影响的问题。通常，这是一个不同寻常的问题。然而，通过等效原理，答案变得显而易见。如果我们在加速的火箭中打开手电筒，光束将向着地板方向弯曲。（因为光束在穿过房间所需要的时间里，火箭在光束下面加速了）。因此，爱因斯坦认为引力场会使光束的路径弯曲。

爱因斯坦知道物理学有一条基本原理，即光束将在两点之间走所需时间最少的那条路径（费马最短时间原理）。通常，经过两点之间时间最少的路径是直线，因此光束是直的。（即使光进入玻璃时发生弯曲，它仍然服从最短时间原理。这是因为光在玻璃中的速度变慢了，现在光通过空气和玻璃的结合体所花时间最短的路径是折线。这就是所谓的折射，它是制造显微镜和望远镜的基础。）（例如，设想你是一名离水有一定距离的岸上的救生员。此时，你瞥见某人溺水求救。假定你在柔软的沙滩上的奔跑速度远低于你在水中的游动速度。如果你选择直线距离救人则需要花费太多时间浪费在沙滩上。而此时的最短时间路径是一条折线，即缩短在沙滩上奔跑的时间，将自己在水中的时间最大化。）

然而，如果光在两点之间会选择通过时间最短的路径，且光束在引力的影响下弯曲，那么，两点之间的最短距离就是一条曲线。爱因斯坦被这个结论震惊：如果光能被观察到以曲线传播，这就意味着空间本身是弯曲的。



空间弯曲

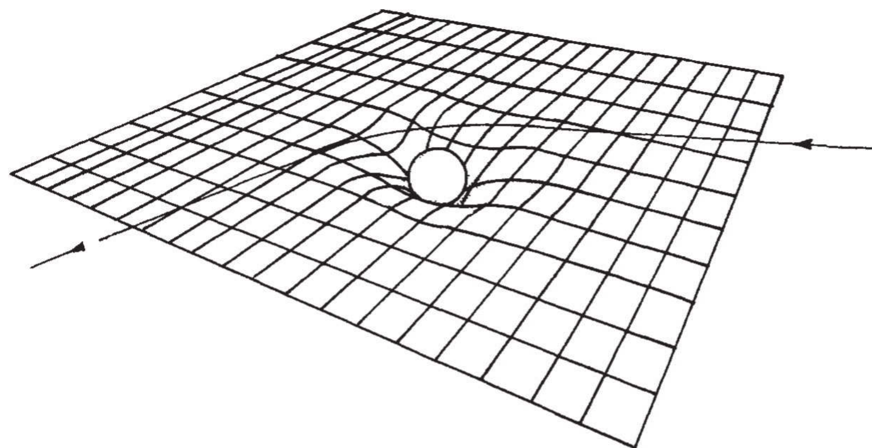
爱因斯坦信念的核心是——“力”可以用纯几何学进行解释。例如，想象一下我们骑旋转木马时的场景。大家都知道，我们在换马的时候会在穿过平台时感到一种“力”在拉我们。因为旋转木马的外缘比中心移动得更快。根据相对论原理，旋转木马的外缘必须收缩，这个平台作为一个整体必须是弯曲的。对平台上的人来说，光不再以直线传播，仿佛有一股“力”将它拉向边缘。通常的几何定理不再成立。因此，当我们在旋转木马的马与马之间穿行时所感觉到的“力”可以解释为空间本身的弯曲。

爱因斯坦独立地发现了黎曼原先的方案——给“力”的概念一个纯粹的几何解释。让我们回忆一下黎曼用生活在皱褶纸面上的平地居民所作的类比。对我们来说，在皱褶表面移动的平地居民显然不能是行走在一条直线上。无论他们走哪条路，他们都将受到一个“力”，这个“力”或左或右地作用在他们身上。对黎曼来说，空间的弯曲引起力的出现。因此，力并不真实存在，实际上发生的事情是空间本身被弯曲变形了。

然而，黎曼方案的问题是，他没有提出有关引力和电磁力与空间弯曲的关系的具体想法。他的方法是纯数学的，没有如何实现空间弯曲的具体且精确的物理绘景。在黎曼失败的地方，爱因斯坦成功了。

例如，设想一块岩石放在一块展开的床单上。显然这块岩石要下沉，形成一个平滑的凹陷。我们将一个小弹球扔到这个床单上，它就会沿着一条围绕岩石的圆形或椭圆形轨道路径运动。从远处看到弹球绕岩石运动的人可能会说，有一个发自岩石的“瞬间力”改变了弹球的运动路径。然而，仔细观察你会发现：岩石弯曲了床单，因此也弯曲了弹球的路径。

依此类推，行星在环绕太阳的轨道上运动，是因为它们正运行在被太阳弄弯曲的空间中。这样，我们站在地球上而不会被抛进外太空的答案就浮出了水面——地球在不断地弯曲我们周围的空间（图4.1）。



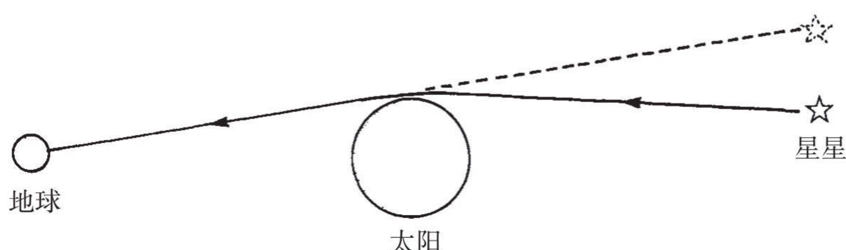


图4.1　对爱因斯坦来说，“引力”是空间弯曲引起的一种错觉。他预测光通过太阳附近时会弯曲，因此，星星的相对位置在有太阳存在的情况下会发生偏离。这一点已被实验证实了。

爱因斯坦注意到由于太阳的存在弯曲了来自遥远的星星的光的路径。因此，这个简单的物理描述给出了一种用实验来检验理论的方法。首先，我们在夜间测量星星的位置，此时我们看不见太阳。然后，在日蚀期间，再次测量这些星星的位置，此时是有太阳的（但太阳光的强度已不能淹没恒星的光）。根据爱因斯坦原理，当太阳出现时，星星的表观的相对位置应该发生变化，因为太阳的引力场会弯曲这些星星发出的到达地球的光的路径。通过比较夜晚星星和日蚀时星星的照片，这一理论将得到检验。

这种绘景可以用马赫原理来概括，它指导爱因斯坦创造了广义相对论。我们记得床单的弯曲是岩石存在而引起的。爱因斯坦总结了这种类比，他指出：物质-能量的存在确定了围绕着它的空间-时间的曲率。这是黎曼没有发现的物理原理的本质，即空间的弯曲是直接与空间内包含的能量和物质的量相联系的。

反过来，这可以用爱因斯坦的著名方程总结[17]，这个方程式可以描述为：

物质-能量→空间-时间的曲率

在方程式中，箭头意味着“确定”，这个看似很短的方程是人类心灵最伟大的成就之一。星星和星系的运动、黑洞、大爆炸、宇宙本身命运背后的原理也许都来自于这个方程式。

然而，爱因斯坦还是缺了一块拼图。他发现了正确的物理原理，但他缺乏严格而强有力的数学公式来表述这个原理。他的引力场缺乏法拉第场的形式。具有讽刺意味的是，黎曼掌握了数学工具却没有指导性的物理原理，爱因斯坦发现了物理原理却缺乏数学工具。



引力的场论

因为爱因斯坦是在不知道黎曼工作的情况下建立的这个物理描述，他缺乏数学语言或技巧来表达他的原理。1912—1915年是他度过的最为沮丧的4年，他拼命地搜索能表达这个原理的数学形式。爱因斯坦写了一封绝望的信给他最亲近的朋友数学家马塞尔·克罗斯曼（Marcel Crossman）。他在信中恳求道，“克罗斯曼，你必须帮我，否则我要疯了！”

幸运的是，克罗斯曼在图书馆仔细查找解决爱因斯坦难题的一些线索时，偶然发现了黎曼的著作。克罗斯曼向爱因斯坦介绍了黎曼的著作和他的被物理学家忽略了60年的度规张量。爱因斯坦后来回忆，“克罗斯曼核查了文献并很快发现，这个数学问题已被黎曼、里奇（Ricci）、莱维-奇维塔（Levi-Civita）解决了。黎曼的成就是最伟大的。”

让爱因斯坦震惊的是，他发现1854年黎曼的著名讲演是这个问题的关键。他发现他可以用黎曼的工作重写他的原理。几乎是一行一行地，黎曼的伟大工作在爱因斯坦的原理里找到了它真正的家。这是爱因斯坦最骄傲的一项工作，甚至超过了他的著名方程$E = mc2$。对黎曼著名的1854年的讲演重新作出的物理解释，现在被称为广义相对论。而爱因斯坦的场方程是科学历史上最意义深远的思想之一。

我们记得，黎曼最大的贡献之一是他引进了度规张量的概念，一个在空间所有的点都有定义的场。度规张量不是一个单一的数。在空间的每一点，它由10个数的集合构成。爱因斯坦的方案，是追寻麦克斯韦的思想，建立引力场方程。他寻找一种场来描述引力，这一目标实际上是在黎曼讲稿的第1页发现的。事实上，黎曼的度规张量正是法拉第的引力场。

当爱因斯坦的方程用黎曼的度规张量充分表达时，它们采取了一种在物理学历史上从未见过的优雅方式。诺贝尔奖得主苏布拉马尼扬·钱德拉塞卡尔（Subrehmanyan Chandrasekhar）曾称它为“曾经有过的最美的理论”。［事实上，爱因斯坦的理论是如此简单且如此强大，以至物理学家有时困惑地说，它怎么工作得如此之好。麻省理工学院（MIT）的物理学家维克多·韦斯考普夫（Victor Weisskopf）曾说，“它好像一位农民问工程师，‘蒸汽机是怎样工作的？’工程师向农民准确地解释，‘蒸汽跑到了那儿，以及它是如何驱动蒸汽机运行的’。接着，这位农民说：‘是的，这些我都懂了，但马在哪儿呢？’这就是我对广义相对论的感觉，我知道各个细节，我懂得蒸汽跑去了哪儿，但我始终不敢肯定我

知道马在哪儿。”]

回顾一下，我们看到在爱因斯坦之前的60年，黎曼是多么接近于发现引力理论。整个数学工具在1854年就已经成熟了。黎曼的方程非常强大，它足以描述任何维度的空间-时间的最复杂的扭曲。然而，他缺乏物理构想（物质-能量确定空间-时间的曲率），也缺乏爱因斯坦敏锐的洞察力。



生活在弯曲空间

我曾有一次观看在波士顿举行的冰球比赛。当然，我所有的注意力都集中在溜冰场上滑行的冰球运动员身上。我看到冰球在不同运动员之间被打来打去，这使我想起在形成化学元素或分子时，原子是如何交换电子的。我注意到，溜冰场肯定是没有参加比赛的，它只是标志出了各种边界，它是冰球运动员得分的一个被动的平台。

之后，我开始想象如果溜冰场实际参与比赛会是什么情景？如果冰球运动员被迫在一个表面弯曲的溜冰场上比赛，这里有起伏的山丘和陡峭的山谷，比赛会发生什么变化？

冰球比赛会突然变得更为有趣。冰场的曲率将扭曲它们的运动，好像有力拉着运动员到这边或那边。冰球将像蛇一样曲线运动，使比赛变得更加困难。

然后，我再进一步想象，运动员被迫在一个圆筒形的溜冰场里比赛，滑得足够快的运动员能头朝下地滑过筒顶，绕圆筒滑一圈。可以设计新的比赛规则，例如，绕着圆柱上下颠簸地滑行，伏击一名对方运动员，在他尚未被察觉时抓住他。一旦溜冰场弯成圆形，在解释物质在他表面上的运动时，空间就变成了决定性的因素。

再举一个与我们宇宙有关的例子，即我们生活在超球面（四维球面）给出的弯曲空间中。[18]如果我们向前看，光将绕超球面的小圆周跑一圈回到我们的眼前。这样，我们将看到有个人站在我们的面前，背对着我们，和我们穿一样的衣服。我们不以为然地看着这人随意而蓬乱的头发，接着记起那天我们忘了梳理自己的头发。

这个人是镜子产生的影像吗？为了查明此事，我们伸手摸他的肩膀。我们发现在我们面前的是真人，并非一个影像。事实上，如果我们看向远处，我们会看到无数个同样的人，每个人都面向前，每个人都有一只手放在他前面那个人的肩膀上。

更让人吃惊的是，我们会感到某个人的手偷偷地摸到了我们的后背，然后抓住我们的肩膀。吓了一跳，我们回头看，看到在我们背后有另外的无数个相同的人，他们的脸都转向了另一个方向。

到底发生了什么？当然，我们是唯一生活在这个超球面上的人。在我们前面的人，其实就是我们自己。我们在盯着我们自己的后脑勺。把

我们的手放在我们的前面，实际上我们是将自己的手绕着超球面伸了出去，直到将它放到我们自己的肩膀上。

在超球面上可能发生的违背直觉的事情，在物理学上是很有趣的。因为很多宇宙学家相信，我们的宇宙实际上是一个巨大的超球面。还存在着另一些奇特的拓扑结构，如超环面和莫比乌斯带。尽管它们可能并无什么实际应用，但却有助于说明生活在超空间中的很多特征。

例如，让我们假定自己生活在超环面上。如果我们向左右看，我们会惊讶地发现我们的左右各有一人。光围绕超环面较大的圆周跑一圈，并回到它的起始点。因此，如果我们的头转向看左边，我们看到某个人身体的右侧。转向另一边，我们将看到某个人身体的左侧。无论我们的头转得多快，在我们前面的人和侧面的人的头也会以同样的速度转向，我们绝不能看到他们的脸。

设想我们将自己的胳膊伸向两边。在左边的人和在右边的人也都伸出了他们的胳膊。如果离得近，你就能抓住一侧人的左手和另一侧人的右手。如果你仔细看两边，你能看到无限长的排成直线的人全都手握着手。如果你向前看，有另外一条无限系列的排成直线的人站在你的前面，全都握着手。

实际上发生了什么？实际上是我们的胳膊长到能绕超环面一周，直到手臂接触。这样，我们在事实上是抓住的自己的手（图4.2）！

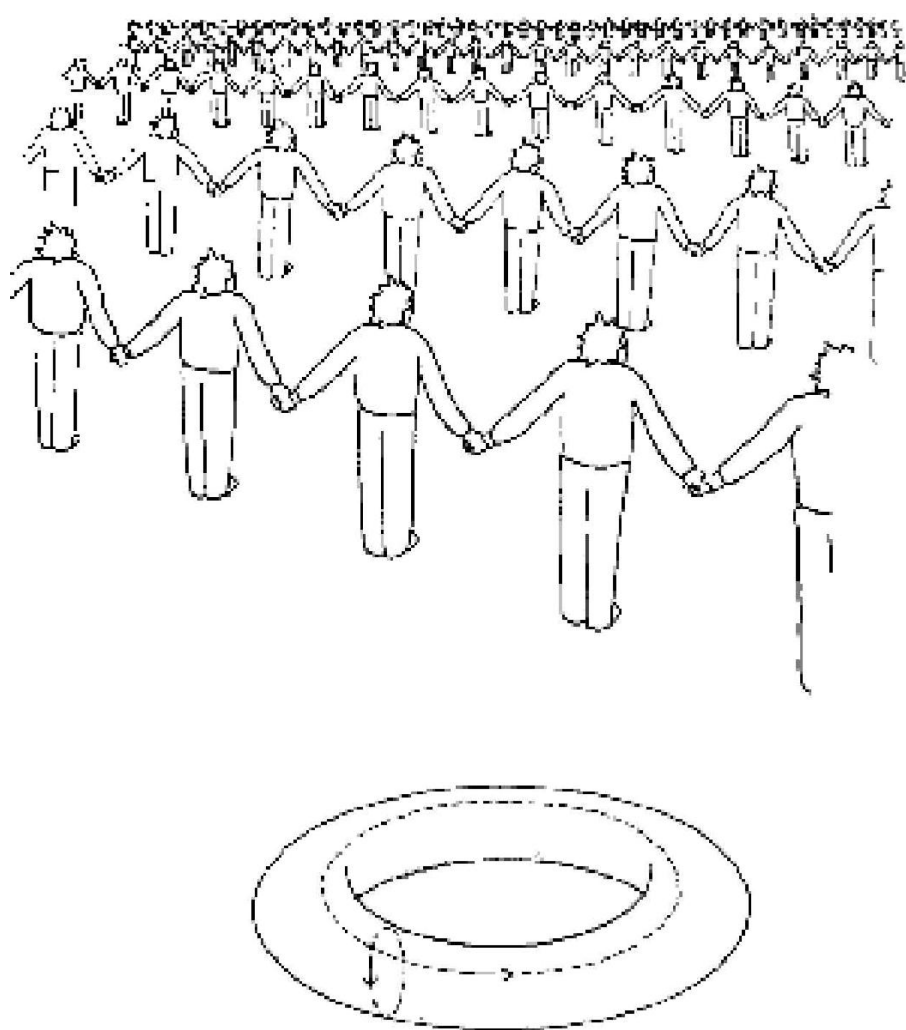


图4.2　如果我们住在超环面中，我们将看到无限系列的自己。他们在我们的前面，在我们的背后，在我们的侧面。这是因为光有两条绕超环面传播的方式。如果我们握着两侧人的手，实际上是握住的自己的手。也就是说，我们的手臂实际上环绕了超环面一圈。

现在我们发现自己厌倦了这个游戏。这些人似乎在嘲笑我们，他们像复制猫，我们做什么他们就做什么。我们烦了，拿出枪指着我们前面的人，正当我们准备扣动扳机时，我们突然自问："这个人是镜子里的影像吗？"如果是，子弹将穿它而过；如果不是，子弹会围绕这个宇宙跑一圈后从背后打到我们。也许在这个宇宙中开枪不是一个好想法。

我们设想一个更加奇特的宇宙，想象自己生活在莫比乌斯带上。这条带像一条长长的纸带，将它扭180度，再把两头粘起来成为一个圆条。一个惯用右手的平地居民沿这个带走一圈，会发现自己变成了左撇子。环绕这个宇宙走一圈，方向就逆转了。就像威尔斯写的《普拉特纳故事》，其中的英雄在一次偶然事故后回到地球，发现他的身体发生了左右颠倒。例如，他的心脏跑到了身体的右侧。

如果我们住在超莫比乌斯带上，我们向前看，看到了一个人的后脑勺。起初，我们并不认为那是自己的头，因为我们部分头发的方位发生了改变。如果我们伸出右手放在他的肩膀上，他会伸出左手放在他前面人的肩膀上。事实上，我们会看到无限系列的人，他们的手都放在彼此的肩膀上，只是这只手交替地从左肩换到右肩。

如果我们在一个地方离开我们的朋友，沿这个宇宙走一圈，我们会发现自己又回到了原点。而我们的朋友吃惊地发现，我们的身体左右倒置了。我们一边的头发和手上的戒指都跑到另一侧，我们的内部器官也颠倒了。他们会问，你怎么了？还好吗？事实上，我们自己感觉良好，丝毫没有感觉到变化。对我们来说，是我们的朋友颠倒了！随之而来的争论是——到底谁颠倒了。

当我们生活在空间和时间弯曲的宇宙，我们会遇到这样或那样的可能性。空间不再是一个被动的舞台，它变成了在我们的宇宙中上演戏剧的主动表演者。

总之，我们看到爱因斯坦完成了黎曼在60年前开创的工作，利用高维简化自然规律。然而，爱因斯坦在几个方面比黎曼走得更远。与黎曼一样，爱因斯坦独立地认识到“力”是几何的结果，但与黎曼不同的是，爱因斯坦能找到这个几何背后的物理原理，即空间-时间的曲率是由于物质-能量的存在造成的。与黎曼一样，爱因斯坦知道引力可以用场来描述，用度规张量来描述，但与黎曼不同的是，爱因斯坦能发现这些场服从的精确的场方程。



大理石做的宇宙

到20世纪20年代中期，随着狭义相对论和广义相对论的建立，爱因斯坦在科学史上的地位得到了确立。1921年，天文学家证实，光线通过太阳周围时，正如爱因斯坦预测的那样被弯曲了。到那时，爱因斯坦已被公认为牛顿的继承人。

然而，爱因斯坦并不满足。他试图再拼搏一次，再创一个世界级的理论。但是，他的第三次努力失败了。他的第三个也是最后一个理论，本该是他一生中最辉煌的成就。他想探索“万物理论”，这个理论将解释自然界发现的所有已知的力，包括光和引力。他给这个理论创造了一个词：统一场论。遗憾的是，他探索光和引力的统一场论并未成果。他去世的时候，留下的仅是书桌上未完成的各种手稿。

具有讽刺意味的是，爱因斯坦受挫折的来源是他自己的方程结构。他被这个方程的基本缺陷困扰了30年。方程的一边是空间-时间的曲率，他把它比作“大理石”，这是因为它有一种美丽的几何结构。对爱因斯坦来说，空间-时间的曲率就像希腊建筑的缩影——美丽而安详。然而，他讨厌这个方程的另外一边，物质-能量。他认为它是丑陋的，并把它比作“木头”。一方面，空间-时间的“大理石”是干净和优雅的；另一方面，物质-能量的“木头”是一个混乱的，似乎是没有次序的可怕的杂物——从亚原子粒子、原子、聚合物、晶体到岩石、树、行星、星星。但是，在20世纪20—30年代，当爱因斯坦积极地从事统一场论的研究工作时，物质的真正性质尚是一个未解之谜。

爱因斯坦的基本方法是将“木头”变成“大理石”——也就是说，给予物质一个几何的起源。但是，没有更多的物理线索和对“木头”的深层的物理认识，要完成这件事是不可能的。比如说，在花园中生长了的一棵巨大的扭曲的树。建筑师围绕这棵扭曲的树建了一个广场，是用美丽的一片一片的大理石装配的。建筑师仔细地装配这些大理石片，使它像一个耀眼的花的模式，有着从树发出的藤和根。按照马赫原理的意义：树的存在决定了围绕在它周围的大理石的图案。但是，爱因斯坦讨厌木头和大理石之间的这种不协调，木头看起来是丑陋而复杂的，大理石是简单而纯粹的。他的梦想是将树变成大理石。他理想中的广场完全由大理石建造，在它的中心有一座美丽而对称的大理石树雕像。

回顾起来，我们能够大概地看出爱因斯坦的错误。我们记得自然法则在高维可以简化和统一。爱因斯坦两次正确地应用了这个原理，狭义相对论和广义相对论。然而，第三次他废弃了这个基本原理。因为在他

那个时代，人们对原子和原子核物质的结构知之甚少，所以人们就很难知道怎样运用高维空间作为一个统一的原理。

爱因斯坦盲目地尝试了若干纯粹的数学方法。他显然认为“物质”能被看作空间-时间中的扭结、振动、扭曲。在这一绘景中，物质是空间的集中的扭曲。换句话说，我们所见的周围的一切，从树、云到天空的星星也许都是幻觉，它们也许是超空间的某种形式的皱褶。然而，由于缺乏更加过硬的线索或实验数据，这个思想走进了死胡同。

下一步，这个问题留给了一位默默无闻的数学家，它将我们引向了第五维。



卡鲁扎-克莱因理论的诞生

1919年4月，爱因斯坦收到一封信，这封信使他惊讶得说不出话来。

这封信来自德国哥尼斯堡大学（其所在地是苏联的加里宁格勒）的不知名的数学家西奥德尔·卡鲁扎（Theodr Kaluza）。在只有几页简短的文章中，这个不知名的数学家就给出了一个该世纪最伟大难题之一的解决方案。卡鲁扎仅用了几行就统一了爱因斯坦的引力理论和麦克斯韦的光理论，方法是通过引进第五维（即四维空间和一维时间）。

在本质上，卡鲁扎是重新启用了辛顿和佐尔拉的老的“四维”，并用一种新鲜的方式作为第五维把它融入爱因斯坦的理论。像他之前的黎曼一样，卡鲁扎认为光是这个高维的涟漪引起的干扰。这个新的工作与黎曼、辛顿、佐尔拉的工作的关键区别在于，卡鲁扎提出了一个真正的场论。

在这篇短文中，卡鲁扎非常天真地在五维中写下爱因斯坦的场方程，而不是通常的四维。（我们记得可以在任何高维中构建黎曼的度规张量）然后，他继续证明这些五维的方程其中包含了爱因斯坦早期的四维理论（这在预期之中），还增加了一片空间。让爱因斯坦震惊的是这个另外的一片空间正是麦克斯韦的光理论。换句话说，这个无名的科学家一下子就提出了把科学上已知的最伟大的两种场论（爱因斯坦的场论和麦克斯韦的场论）结合起来，即把它们混合在第五维空间中。这是一个用纯大理石构建的理论——纯几何构建的理论。

卡鲁扎在将木头转变成大理石中发现了第一个重要的线索。类比于公园中的大树，我们记得大理石的广场是二维的。卡鲁扎的观察是，如果我们能将大理石的片向上移动到三维中，我们就可以营造一棵大理石“树”。

对于一般的非专业人士而言，光和引力并无联系。毕竟，光是一种熟悉的力，它表现为各种各样的颜色和形式；而引力则是一种看不见的和远距离作用的力。在地球上，是电磁力而不是引力帮助我们驯服自然。电磁力为我们的机器提供动力，为我们的城市供电，点亮霓虹灯和电视机。相反，引力在更大的尺度上起作用——引力引导行星运动并阻止太阳爆炸。引力是一种弥散在宇宙中和将太阳系绑定在一起的宇宙力。（除了韦伯和黎曼，法拉第是第一批在实验室探索光和引力之间的联系的科学家之一。法拉第用来测量这两种力之间联系的实验仪器现在

仍然可以在伦敦皮卡迪利皇家研究所找到。虽然他未能用实验找到这两种力之间的任何联系，但是法拉第深信统一的威力。他写到，“如果这种统一的希望被证明是成立的，那么我试图研究的这种力就其不可改变的特征而言，该是多么伟大、有力、惊人，这个可以启人心智的新的知识领域又该是何等博大啊！”）

甚至在数学角度上，光和引力也像油和水一样不相容。麦克斯韦的光的场论要求有4个场，爱因斯坦的引力度规理论要求有10个场。然而，卡鲁扎的文章是如此之优雅和有吸引力，以致爱因斯坦无法拒绝。

乍一看，它好像只是数学上的雕虫小技，只是简单地把空间和时间的维数从四拓展到五。这是因为，正如我们记得的，没有实验证据证明有第四个空间维度。令爱因斯坦震惊的是，只要将五维场论分解为四维场论，麦克斯韦方程和爱因斯坦方程就都能和谐统一地保留下来。换句话说，卡鲁扎成功地将两块拼图拼在一起，因为它们都是一个大的整体的组成部分，这个整体就是五维空间。

“光”是作为高维空间的几何弯曲出现的。这个理论似乎是完成了黎曼将力解释为纸片皱褶的古老梦想。卡鲁扎在他的文章中声称，他的理论综合了到那时为止的两种最重要的理论，他的理论拥有“实质上无法超越的统一性”。他还坚持说他的理论绝对简单且优美，而并非“一出用眼花缭乱的情节惑人的游戏”。使爱因斯坦震惊的是文章的大胆和简单。卡鲁扎的基本论证，像所有伟大的思想一样是优雅和简洁的。

用拼图板将各部分拼合起来做类比，是一件有意义的事情。我们记得黎曼和爱因斯坦工作的基础是度规张量——也就是定义空间中某个点的10个数的集合。这是法拉第场概念的自然推广。在图2.3中我们看到在一片4×4维的棋盘上这10个数是如何布置的。我们可以定义这10个数为g_{11}、g_{12}、…此外，麦克斯韦的场是空间中某个点的4个数的集合，这4个数可以用符号A_1、A_2、A_3、A_4表示。

为了理解卡鲁扎的技巧，让我们在五维中研究黎曼的理论。这时度规张量可以布置在5×5的棋盘中。现在，根据定义我们重新命名卡鲁扎场的分量。这样，其中某些部分就成为了爱因斯坦的场，而另一些则成为了麦克斯韦的场（图4.3）。这是卡鲁扎技巧的精髓，它令人吃惊地抓住了爱因斯坦。卡鲁扎通过简单地添加一个麦克斯韦的场到爱因斯坦的场中，就把二者重新组装为五维的场。

$$
\left(\begin{array}{cccc|c}
g_{11} & g_{12} & g_{13} & g_{14} & A_1 \\
g_{21} & g_{22} & g_{23} & g_{24} & A_2 \\
g_{31} & g_{32} & g_{33} & g_{34} & A_3 \\
g_{41} & g_{42} & g_{43} & g_{44} & A_4 \\
\hline
A_1 & A_2 & A_3 & A_4 &
\end{array}\right)
$$

$$
= \left(\begin{array}{c|c}
\text{爱因斯坦} & \text{麦克斯韦} \\
\hline
\text{麦克斯韦} &
\end{array}\right)
$$

图4.3　卡鲁扎的光辉思想是在五维中写下黎曼度规张量。第5行和第5列等同于麦克斯韦的电磁场，而其余4×4的块是老的爱因斯坦的四维度规。卡鲁扎用添加一个维度的方法就统一了引力和光的理论。

注意，黎曼五维引力中的15个分量内有足够的容量填充爱因斯坦场的10个分量和麦克斯韦场的4个分量！因此，卡鲁扎的光辉思想可以粗略地总结为：

$$15 = 10 + 4 + 1$$

（剩余的量是一个标量粒子，对于我们的讨论并不重要。）当我们

仔细分析这个五维理论时，我们发现麦克斯韦的场漂亮地包括在黎曼度规张量中，就像卡鲁扎声称的那样。这样，这个看似天真的方程总结了本世纪影响最深远的一个思想。

总体来看，五维度规张量既包括了麦克斯韦的场，也包括了爱因斯坦的场。对爱因斯坦来说，这样一个简单得似乎是不可相信的思想能够解释自然界两个最基本的力：引力和光。

它只是客厅里的戏法吗？或是数字占卦术？或是黑色魔术？爱因斯坦被卡鲁扎的信深深震撼了，事实上他拒绝对这篇文章作出响应。他仔细思索这封信长达两年之久，对于那些推荐发表重要文章的人而言，这是一段非常长的时间。最后，他确信了这篇文章潜在的重要性，并将它送往《科学院会议报告》（*Sitzungsberichte Preussische Akademie der Wissenschaften*）发表。他还为其冠以了给人印象深刻的标题“论物理的统一问题”。

在物理学的历史上，没有一个人发现第四个空间维度的任何应用。自黎曼以来，大家都知道高维数学是惊人美丽的，但却没有物理应用。首次有人发现了第四空间维度的应用：统一物理定律！在某种意义上，卡鲁扎提出了爱因斯坦的思想：四维“太小了”，无法全部容纳电磁力和引力。

从历史上看，我们可以看出卡鲁扎的工作并非完全出于意外。大多数的科学史家一提到卡鲁扎的工作就说，五维的思想是晴天霹雳，是意想不到的原创。由于物理研究的延续性，这些历史学家吃惊地发现一个新的科学通道在没有任何历史先例的情况下打开了。但他们的吃惊表现可能是因为他们不熟悉神秘主义者、文人、前锋派艺术家的非科学的工作。更仔细地审视文化和历史背景，我们可以得出卡鲁扎的工作并非那么意外。正如我们看到的，由于辛顿、佐尔拉和其他人的工作，也许已使高维在艺术界和文学界得到了快速普及，并上升到了准科学思想。从这个较大的文化视角看，物理学家认真地对待辛顿的思想（即光是第四个空间维度的振动）仅是个时间问题。在这个意义上，黎曼的工作通过辛顿和佐尔拉传播给了艺术界和文学界，之后，又通过卡鲁扎的工作传回到科学界。在支持这一论点方面，近来，弗罗因德（Freund）披露了卡鲁扎实际上并非是第一个提出五维引力理论的人。爱因斯坦的对手贡纳·诺德斯特姆（Gunnar Nordstrom）才是真正的提出五维场论的第一人。可惜它太粗糙，没有把爱因斯坦和麦克斯韦的理论包括进来。卡鲁扎和诺德斯特姆独立地试图探索第五维，这一事实表明，在大众文化中广泛传播的概念影响了他们的思想。[19]



第五维度

任何一个物理学家在他们第一次遇到五维时都会感到震惊。彼得·弗罗因德（Peter　Freund）清楚地记得当他第一次遇到第五维和更高维度时的那一刻。这件事在他的思想中留下了深深的烙印。

1953年，弗罗因德出生在罗马尼亚。约瑟夫·斯大林（Joseph　Stalin）也在这一年去世。这一个重要事件导致了当时的国际紧张局势得到了缓解。那一年，弗罗因德是一个早熟的大学新生，他参加了乔治·弗朗恰努（George　Vranceanu）主持的一个讲座。他回忆自己听弗朗恰努讨论这个重要的问题：为什么光和引力不相干？然后，这个讲师提到了一个古老的理论，它能够包含光理论和爱因斯坦引力方程。其要义是使用在第五维中建立的卡鲁扎-克莱因的理论。

弗罗因德非常震惊，这是一个绝妙的让他吃惊的思想。虽然只是一个大学新生，但他鼓足了胆量提出了一个明显的问题：卡鲁扎-克莱因理论如何解释其他的力呢？弗罗因德问道："即使你实现了光和引力的统一，你也不能解决全部问题，因为还有核力。"弗罗因德意识到核力在卡鲁扎-克莱因理论之外。（事实上，在冷战高峰时期，氢弹像利剑一样悬在地球上的人类头上。它是以核力的突然释放为基础的，而不是靠电磁力和引力。）

演讲者没有回答。仗着年轻气盛，弗罗因德脱口而出，"再增加更多的维度会怎样？"

"但是，再增加多少维呢？"演讲者问道。

弗罗因德措手不及。他不想给出一个低的维度，怕被别人抢先。于是，他提出了一个没人能再超过的数字：无限数量的维度！（不幸的是，对于这个早熟的物理学家来说，一个无限数字的维度在物理上似乎是不可能的。）



生活在圆柱体上

在面对第五维度带来的初始震惊之后，大多数物理学家开始发问了。事实上，卡鲁扎的理论提出的问题甚至多于它能回答的问题。其中，最显而易见的问题是：第五维度在哪里？因为地球上我们所能想见的实验都确凿地表明：我们居住在一个具有三个空间维度和一个时间维度的宇宙中，这个尴尬的问题依然存在。

卡鲁扎的回答很聪明。他的解决方案与辛顿几年前提出的方法几乎一致，即高维是实验不可观察的，有别于其他的低维度。事实上，它塌缩到一个小圆，这个圆甚至小到容纳不下一个原子。因此，第五维度不只是一种用来处理电磁力和引力的数学技巧，他还是一个物理维度，这个物理维度提供了一种胶合剂，从而可以将这两种基本的力统一为一种力。但它太小了，以至于我们无法测量。

任何沿着第五维度方向行走的人最终会发现他们又回到了始发地。这是从拓扑学角度来考虑，第五维度等同于一个圆，而宇宙等同于一个圆柱体。

弗罗因德这样解释道：

> 想象一些生活在单线世界中的假想人，这个单线世界只包含一条直线。在他们的整个历史中，他们认为他们的世界只是一条单一的线。然后，单线世界中的科学家提出，他们的世界并不是一维直线，而是一个二维世界。当有人问这个神秘的看不见的二维在什么地方时，他会回答说，第二个维度蜷缩成了一个小球。所以，生活在单线世界的人其实是生活在一个很长很细的圆柱体上。圆柱的半径太小，以至于无法被测量。事实上，这个半径是如此之小，以至于他们的世界看起来就是一条直线。

如果圆柱的半径较大，生活在单线世界中的人可以垂直于他们的线世界离开他们的宇宙。换句话说，他们可以进行空间的旅行。当他们垂直于他们的线世界移动时，他们能遇到与他们宇宙共存且相似的无数的平行线的世界。当他们进一步深入第二维度时，最终会回到他们自己的线世界。

现在，想象一些生活在一个平面的平地居民。同样地，一个平地科学家可以做出大胆的声明——去三维旅行是可能的。原则上来说，一个

平地居民可以向上飘浮离开平地表面。当这个平地居民慢慢地向上飘浮到第三维中时，他的“眼睛”会看到一系列难以置信的不同的平行宇宙，且与他所生活的宇宙共存。因为他的眼睛只能看到与平地宇宙的这个面相平行的东西，所以他将看到出现在他面前的不同的平地宇宙。如果平地居民飘浮到距离这个平面最远的地方，他将最终回到自己原来的平地宇宙。

现在，想象我们居住的三维世界实际上还存在另一个维度，它已卷曲成一个圆。为了便于讨论，我们假设这个第五维度有10英尺（3米）长。只要跳进第五维度，我们就会立刻从现在的宇宙中消失。进入第五维度后我们会发现，自己移动10英尺（3米）后，会回到我们开始出发的地方。为什么第五维度要蜷缩成一个圆呢？1926年，数学家奥斯卡·克莱恩（Oskar Klein）提出了对这个理论的几点改进。他提出，也许量子理论可以解释第五维度蜷缩起来的原因。在此基础上，他计算出这第五个维度的大小应该是10^{-33}厘米（普朗克长度）。这个长度尺寸对任何地球上可以检测它存在的实验来说都太小了，以至于人们无法探知它的存在。（在今天，这一论据同样被用来证明十维理论的正确性。）

一方面，这意味着该理论与实验相符，因为第五维度太小而无法测量。另一方面，这也意味着第五维度小得惊人，以至永远无法建立足够强大的机器来证明这个理论的正确性。[量子物理学家沃尔夫冈·泡利（Wolfgang Pauli）以他惯有的刻薄的方式排斥他不喜欢的理论，他说，“它也许不能算错”。换句话说，它们是半生不熟的，以至人们不能确定它们的正确性。由于卡鲁扎的理论不能被检验，因此人们也无法确定它的对错。]



卡鲁扎-克莱因理论的死亡

卡鲁扎-克莱因理论虽然在为自然力提供纯几何学基础方面燃起了希望，但它却在20世纪30年代走到了尽头。一方面，物理学家不相信第五维度真实存在。克莱因的猜想“第五维度蜷缩成普朗克长度大小的一个很小的圈”是无法检验的。探测这个小距离所需要的能量是可以计算的，它就是所谓的普朗克能量（10^{20}电子伏特）。这个难以相信的能量几乎超出了我们最大的理解范围。它比被禁锢在质子中的能量还要大10^{28}倍，这超出了我们在今后几个世纪中所能产生的任何物质的能量。

另一方面，物理学家们成群结队地离开这一领域的研究。因为他们发现了一种新的理论，这个新的理论将给科学世界带来一场革命。由亚原子理论引发的浪潮彻底淹没了卡鲁扎-克莱尔理论的研究。这个新的理论被称为量子力学，在接下来的60年里，它敲响了卡鲁扎-克莱尔理论的丧钟。更糟糕的是，量子力学对力的平滑的几何解释提出了挑战，用一份份离散的能量取代了它。

黎曼和爱因斯坦开创的进程难道是错误的吗？

不知道看什么书，关注公众号：三秋君
备用公众号：三秋菌　　网址：sanqiu.cc


微信搜一搜

三秋君
获取更多精品书籍，漫画，杂志

Part II
Unification in Ten Dimensions

第二部分
统一在十维中

5　量子异端

没有被量子理论震惊的人，就没有理解它。

——尼尔斯·玻尔



木头制成的宇宙

1925年，一个新的理论出现了。这一理论以惊人的速度，几乎是流星般的速度推翻了希腊人长期以来一直持有的关于物质的观念。它几乎毫不费力地征服了许多长期存在的，难倒了几个世纪物理学家的根本问题，什么是物质？是什么使它结合在一起？为什么物质会以无穷多样的形式出现，如气体、金属、岩石、液体、水晶、陶瓷、眼镜、闪电、星星等？

新的理论被命名为量子力学，它第一次给我们提供了用以撬开原子奥秘的详尽的方法。亚原子世界曾经是物理学家们的禁区，现在它们的秘密被逐步公开。

要理解这个革命颠覆其竞争对手的速度，我们注意到，早在19世纪20年代的一些科学家还对“原子的存在”持有严重的保留意见。他们对在实验室中不能被看到或不能被直接测量的东西嗤之以鼻，认为这些不可见与不可测量的东西不具有存在性。1925—1926年，欧文·薛定谔（Schrödinger）、沃纳·海森堡（Werner Heisenberg）和其他科学家已经提出了一个几乎完整的氢原子的数学描述。这些描述具有惊人的精准度，他们可以从纯数学的角度解释氢原子的所有性质。1930年，量子物理学家，保罗·A．M．狄拉克（Paul A．M．Dirac）宣布，化学中的一切东西都可以从第一原则推导。他们甚至提出了一个尖锐的说法，即只要有足够的时间，他们就能在计算机上预测宇宙中所有物质的化学性质。对他们来说，化学不再是一门基础科学，它成为了“应用物理学”。

量子理论在这段时间迅速崛起，它不仅明确解释了原子世界的奇异属性，也使爱因斯坦的工作黯然失色了几十年：量子革命的第一批“受害者”之一就是爱因斯坦的几何宇宙理论。在高级研究所的大厅里，年轻的物理学家开始低声说，“爱因斯坦在山上，量子革命完全绕过了他”。年轻一代学者蜂拥而至地阅读关于量子理论的最新论文，他们对有关相对论的论文并不关心。甚至研究所所长罗伯特·奥本海默也私下向他的密友们透露，爱因斯坦的工作毫无希望地落后于时代。甚至爱因斯坦本人也开始认为自己是一个“老古董”。

我们记得，爱因斯坦的梦想是要建立一个由“大理石”建成的宇宙，即纯几何宇宙。爱因斯坦讨厌物质的相对丑陋性，由于其混乱的，无次序的杂乱的形式，他称其为“木头”。爱因斯坦的目标是要使他的理论永远排除这个缺陷，将木头转化为大理石。他最终的希望是建立一个完全基于大理石的宇宙理论。使爱因斯坦震惊的是，他逐渐意识到量子理论

是完全由木头构成的理论！具有讽刺意味的是，现在看来他似乎犯了一个大错，宇宙显然更喜欢木头而不是大理石。

在木头和大理石的类比中，我们想起爱因斯坦想把大理石广场的树变成大理石雕像，创造一个完全由大理石制成的公园。然而，量子物理学家从相反的角度看待这个问题。他们的梦想是用大锤粉碎所有的大理石。拆除大理石碎片后，他们将用木头完全覆盖公园。

事实上，量子理论与爱因斯坦的想法完全相反。在几乎所有的层面上，量子理论都站在了爱因斯坦理论的反面。爱因斯坦的广义相对论是一种宇宙理论，是通过时空的平滑结构把恒星和星系联系起来的理论。相比之下，量子理论是一种微宇宙理论，在这个微宇宙中，亚原子粒子被类粒子力聚在一起，这些力在空洞无物的时空舞台上跳舞。因此，这两种理论是完全对立的。事实上，由量子革命产生的潮汐淹没了超过半个世纪的用几何理解力的所有尝试。

贯穿此书，我们建立了一个主题，在更高的维度中物理定律将变得简单和统一。然而，随着1925年后量子异端的出现，我们看到了对这个主题的第一个严峻的挑战。事实上，在接下来的60年，直到20世纪80年代中期，量子物理的异端思想一直主宰世界，以其不可否认的成功和令人惊叹的实验胜利几乎埋葬了黎曼和爱因斯坦的几何思想。

量子理论迅速地为我们提供了一个全面的框架来描述可见的宇宙：物质宇宙由原子和它的成分所构成。大约有100种不同类型的原子或元素，用这些原子或元素，我们可以营造在地球上甚至在太空中发现的所有已知的物质形式。原子由原子核和围绕原子核旋转的电子组成，原子核又由中子和质子组成。从本质上讲，爱因斯坦美丽的几何理论和量子理论之间的主要区别可以概括如下：

1．力是由称为量子的离散的能量包交换产生的

与爱因斯坦的“力”的几何描述相反，在量子理论中光被切成小块。这些光包被命名为光子，它们的行为与点状粒子非常相似。当两个电子相互碰撞时，它们互相排斥，这并非是因为空间的曲率，而是因为它们交换了一个能量包，即光子。

这些光子的能量是用普朗克常数（$h \approx 6.6 \times 10^{-34}$焦·秒）的单位来测量的。普朗克常数是一个无穷小的数，这意味着量子理论对牛顿定律的修正是非常微小的。这被称为量子修正，在描述我们熟悉的宏观世界时可以忽略。这也是为什么我们在描述日常现象时，在大多数情况下可以忽略量子理论。然而，当处理微观的亚原子世界时，这些量子修正开始支配所有的物理过程。这就解释了亚原子粒子奇异的、违反直觉的特性。

2．不同的力是由不同的量子交换造成的

例如弱力，是由不同类型的量子交换引起的，称为W粒子（W代表“弱”）。同样，强力将原子核内的质子和中子绑定在一起，它是由称为π介子的亚原子粒子的交换所引起的。W介子和π介子已经在原子加速器实验的碎片看到了，从而验证了该方法的正确性。最后，把质子、中子甚至π介子结合在一起的亚核力被称为胶子。

这样，我们就有了物理定律的一种新的“统一原理”。我们能把电磁力、弱力和强力的定律统一起来，其方法是假定在它们之间有各种不同的量子起着调解作用。因此，四种力中的三种（不包括引力）被量子理论统一起来。这里，没有用到几何学就给出了统一，似乎违背了本书的主题和我们迄今所考虑的一切。

3．我们绝不可能同时知道亚原子粒子的速度和位置

这就是海森堡测不准原理，这是迄今为止最有争议的理论观点。但在长达半个世纪的时间中，它在实验室里经受住了每一次挑战。目前为止，没有一项已知的实验偏离这个规则。

测不准原理意味着我们永远不能准确测定电子的位置和速度。我们所能做的，就是计算电子在某个特定的位置出现的概率。这种情况并不像人们所怀疑的那样无望，因为我们可以用严谨的数学方法计算发现电子的概率。虽然电子是点粒子，但它却服从遵守着一个具有明确意义的波方程——薛定谔波动方程。粗略地说，波越大，在那个点找到电子的概率就越大。

因此，量子理论将粒子和波的概念辩证地统一起来：自然界的基本物理对象是粒子，但在任何给定的空间和时间中找到粒子的概率是由概率波给出的。同样，概率波遵守一个具有明确意义的数学方程，这个方程是薛定谔给出的。

量子理论的疯狂之处在于，它可以将所有的事都化简为这些莫名其妙的概率。我们可以精确地预测，当一束电子束穿过有孔的屏幕时，会有多少电子发生散射。然而，我们永远不能确切地知道哪一个电子会散射到哪一个方向。这并非是仪器简陋所致，根据海森堡的说法，这是自然规律。

当然，这一公式还含有一个令人不安的哲学意蕴。牛顿的观点认为，宇宙是一个巨大的时钟，在时间的起点上紧发条，时钟从此嘀嗒地走，因为它服从牛顿的三个运动定律。这个对宇宙的描述现在被不确定性和概率取代。量子理论彻底摧毁了牛顿用数学计算预言宇宙中所有粒子运动的梦想。

如果量子理论违反了我们的常识，那只是因为自然似乎不太在意我们的常识。这些想法似乎是陌生的和令人不安的，但它们可以很容易地在实验室验证。这点可以由著名的双缝实验来证明。例如，我们向一个有两个小狭缝的屏幕发射一束电子。在屏幕后面有一张底片。根据19世纪的经典物理学，每个小孔后面应该有两个被电子束曝光的小斑点。然而，在实验室中，我们在底片上发现了一个干扰条纹（一系列明暗相间的条纹）。这就是通常的波的行为，而不是粒子的行为（图5.1）。（产生干涉图案的最简单方法是，取一个洗澡盆，然后有节奏地在水面上溅起浪花，在水面上形成的像蜘蛛网一样纵横交错的波纹是由许多波的碰撞引起的干涉图案。）底片上的条纹对应于同时穿过两个小孔，然后在屏幕上发生自我干涉的一个波。因为干涉图案是由许多单个电子的集体运动造成，又因为波同时穿过两个小孔，我们很容易得出一个荒谬的结论：电子以某种方式同时进入了两个小孔。但电子怎么可能同时出现在两个地方呢？根据量子理论，电子确实是一个点粒子，它穿过一个孔或另一个孔，但电子的波函数扩散到整个空间，穿过两个孔，接着又与他自身相互作用。这个令人不安的想法已被实验反复验证。正如物理学家杰姆斯·詹斯（James Jeans）爵士曾说过的那样，“讨论一个电子要占用多少空间，就像讨论恐惧、焦虑或不确定性要占用多少空间那样没有意义”（我曾在德国的一根汽车保险杠上看到一份贴纸，它简洁地总结了这一点——“海森堡可能睡在这儿”）。

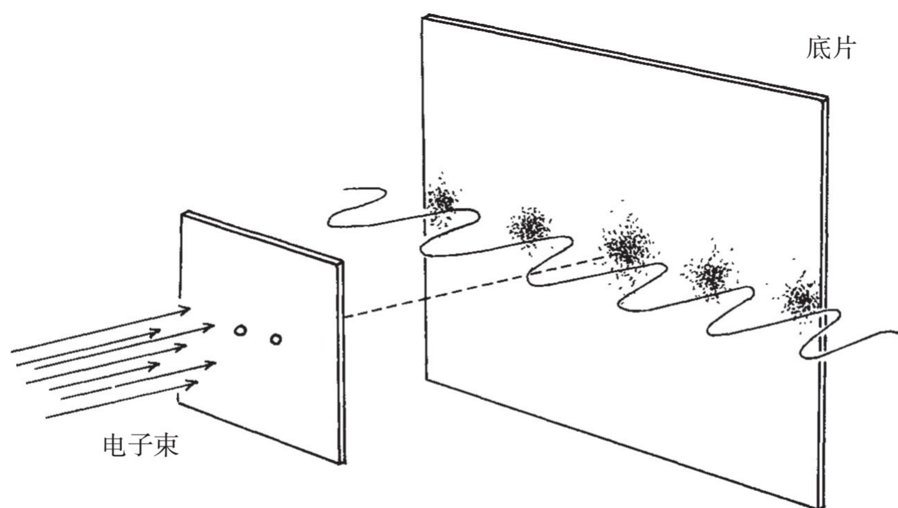


图5.1　一束电子射过两个小孔使某个底片曝光。我们预期在底片上看到两个斑点。然而，事实上，我们看到的是一个波动的干涉条纹。怎么会这样呢？根据量子理论，电子的确是点状粒子，且不能同时穿过两个孔。但是与每个电子相联系的薛定谔的波可以穿过两个孔并与它自身相干涉。

4．粒子可以有一个有限的概率，“隧穿”或通过量子飞跃穿透障碍

这是量子理论更令人震惊的预言之一。在原子层面上，这一预言极为成功。“隧穿”或“量子跨越障碍”在每一个实验挑战中都得到了证明。事实上，一个没有“隧穿”的世界是难以想象的。

演示量子“隧穿”的正确性有一个简单的实验。我们将电子放进盒子里，通常情况下，电子并不具备穿透盒子墙壁的能量。如果经典物理学是正确的，那么，电子将永远不能离开盒子。然而，根据量子理论，电子的概率波会通过盒子传播到外面的世界。电子穿过墙壁的渗流可以用薛定谔波动方程精确计算。也就是说，电子有一个小概率存在于盒外的某处。另一种说法是，电子将以一个确定的小概率穿过盒子墙壁，并从盒子中跑出去。在实验室中，当人们测量电子穿过这些障碍的速率时，得出的结果与量子理论正好相符。

这个量子隧穿就是隧道二极管背后的秘密，隧道二极管是一种纯量子力学器件。通常情况下，电子可能没有足够的能量穿透隧道二极管。然而，这些电子的波函数可以穿透二极管中的势垒，因为电子隧穿势垒出现在势垒另一边的概率是不可忽略的。当你听到美妙的立体声音乐时，请记住，你正聆听着无数服从这个或那个奇异的量子力学法则的电子的节奏。

但是，如果量子力学是不正确的，那么所有的电子器件，包括电视机、计算机、收音机、立体声等，将停止工作。（事实上，如果量子理论是不正确的，我们体内的原子就会崩溃，我们就会立即瓦解。根据麦克斯韦方程，在原子中旋转的电子应该在微秒内失去能量并进入原子核。量子理论阻止了这种突然的崩溃。因此，我们存在的事实就是量子力学正确性的活生生的证明。）

这也意味着存在某一确定且可计算的概率让这种“不可能”的事件发生。例如，我可以计算自己意外消失，穿过地球隧道出现在夏威夷的概率。（应该指出，我们等待出现这种事件所需的时间甚至长于宇宙的寿命，所以我们不能利用量子力学隧穿地球到达世界各处的度假胜地。）



杨-米尔斯场，麦克斯韦场的“接班人”

20世纪30—40年代，量子物理取得了科学史上空前的成功，但到了20世纪60年代慢慢失去了动力。人们建成的强大的原子加速器打碎了原子核，人们从碎片中发现了上百种神秘的粒子。事实上，物理学家被从加速器喷涌而出的大量实验数据所淹没。

爱因斯坦仅凭物理直觉揣摩广义相对论的整体框架，20世纪60年代的粒子物理学家们则淹没在大量的实验数据中。例如，原子弹建造者之一的恩利克·费米（Enrico Fermi）承认，“如果我能记住所有这些粒子的名字，那我会成为一个植物学家”。由于在破碎的原子碎片中发现了数百个“基本”粒子，因此粒子物理学家们提出无数的方案来解释它们。所有的方案都不走运，因为不正确的方案实在太多了，以致有时候有人说亚原子物理学理论的半衰期只有2年。

回顾这一时期粒子物理学家们走的所有弯路和错误，人们想起了一位科学家和跳蚤的故事。

一位科学家训练跳蚤，让它在自己每次按铃之时跳跃。之后，科学家在显微镜下麻醉了一只跳蚤的一条腿。当科学再按铃时，跳蚤仍然跳跃。

接着，科学家又麻醉了这只跳蚤的另一条腿，然后按响了铃。跳蚤仍然跳跃。

随后，科学家又麻醉了这只的跳蚤更多的腿，每次响铃，跳蚤仍然跳跃。

最后，跳蚤只剩下一条没麻醉的腿了。当科学家麻醉了最后一条腿并按铃时，他惊奇地发现跳蚤不再跳跃了。

科学家根据确凿的科学数据郑重宣布了他的结论：跳蚤是通过腿听到铃声的！

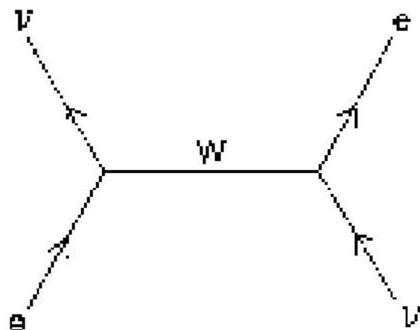
尽管高能物理学家经常觉得自己就是那个故事中的科学家，但在过去的几十年里，关于物质的坚实的量子理论还是逐渐形成了。1971年，推动“三种量子力（引力除外）的统一描述”和“改变了理论物理景观的关键发展”的是一位20岁出头的荷兰研究生热拉尔·胡夫特（Gerard't Hooft）。

基于与光子（即光的量子）的类比，物理学家们认为弱力和强力是由被称为杨-米尔斯场的能量交换引起的。这个场是杨振宁和他的学生R．L．米尔斯（R．L．Mills）在1954年发现的。杨-米尔斯场是一个世纪前的描述光理论的麦克斯韦场的推广。与麦克斯韦场不同的是，杨-米尔斯的场有更多的成分，并可以拥有电荷（光子不带电荷）。对于弱相互作用，相应于杨-米尔斯场的量子是W粒子，这种粒子所带的电荷为＋1、0和-1。对于强相互作用，相应于杨-米尔斯场的量子叫“胶子”，它像胶水一样将质子和中子胶合在一起。

虽然这一普遍绘景十分令人信服，但在20世纪50—60年代，困扰着物理学家们的问题是——杨-米尔斯场不可重整化（即，当应用于简单的相互作用时，杨-米尔斯场不会产生有限的有意义的量）。这使得量子理论在描述弱相互作用和强相互作用方面是无用的。量子物理学撞上了砖墙。

这个问题的出现是因为物理学家们计算两个粒子碰在一起会发生什么时，使用了一种被称为摄动理论的方法。这是一个物理学家所用的巧妙的近似方法。例如，在图5.2（a）中，我们看到当一个电子与另一个弱互相作用的粒子（难以捉摸的中微子）相撞时所发生的事情。作为一种初步猜测，这种相互作用可以用一个图（称为费曼图）来显示，该图表明了一个弱相互作用量子（W粒子）在电子和中微子之间交换。这给了我们一种粗糙而合理地拟合实验数据的一级近似。

根据量子理论，我们还必须对我们的初步猜测增加一些小的量子修正。为了使我们的计算严谨，我们还需要在费曼图中添加所有可能的图形，甚至包括带圆的“循环”图形，如图5.2（b）。理想情况下，这些量子修正应该是微小的。毕竟，正如我们前面提到的那样，量子理论本身就意味着给牛顿物理学提供一个微小的量子修正。但让物理学家恐惧的是，这些量子修正，或“循环图”，不是小量的而是无穷大的。物理学家无论怎样摆弄方程并试图掩饰这些无限大的量，在量子修正计算中这些分歧持续存在。



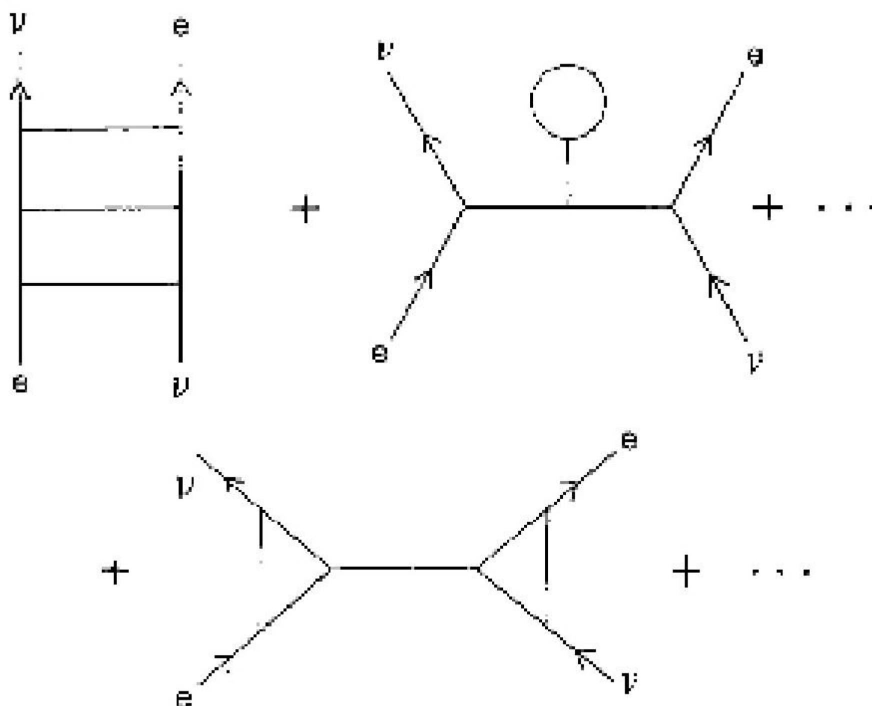


图5.2 （a）在量子理论中，当亚原子粒子互相碰撞时，它们交换能量包或量子。电子和中微子通过交换一种叫做W粒子的弱力量子而相互作用。（b）为了计算电子和中微子的相互作用，必须添加一个无限系列的图——费曼图，其中量子以不断增加的复杂的几何模式交换。这个添加无限系列费曼图的过程叫做摄动理论。

此外，与较简单的麦克斯韦场相比，杨-米尔斯场有着极难计算的可怕名声。围绕杨-米尔斯场有一个错误的观点，有人认为它太复杂以至于无法实际计算。胡夫特也许是太幸运了，他只是一名研究生，没有被“更有经验”的物理学家的成见所影响。胡夫特巧妙地利用他的论文导师马丁纽斯·韦尔特曼（Martinus Veltman）首创的技巧。胡夫特发现，只要存在“对称破坏”（我们稍后会解释），杨-米尔斯场就会获得质量。不过，这种理论仍然是一个有限理论。他证明由回路图引起的无限性都能被消

除，或被慢慢地消减，直到它们变得无害为止。

在杨振宁和米尔斯提出他们的理论之后的20年，胡夫特终于证明了杨-米尔斯场是一个明确界定的粒子相互作用理论。有关胡夫特这项工作的消息像闪光一样传开了。诺贝尔经济学奖获得者谢尔登·格拉肖（Sheldon Glashow）回忆，他听到这个消息时极为震惊，“这家伙要么是个白痴，要么是个最大的物理天才！”进一步的发展接踵而至，1967年由史蒂文·温伯格（Steven Weinberg）和阿伯达斯·萨拉姆（Abdus Salam）提出的早期的弱相互作用理论，迅速被证明是弱相互作用的正确理论。到20世纪70年代中期，杨-米尔斯场被应用到强相互作用。20世纪70年代，人们逐渐认识到，所有的核物质的秘密都可以被杨-米尔斯场解开。

这就是拼图游戏中丢失的那块。把物质结合在一起的木头的秘密是杨-米尔斯场，而不是爱因斯坦的几何学。如此看来，物理学的核心课程是杨-米尔斯场，而并非几何学。



标准模型

今天，杨-米尔斯场已使“建立一种关于所有物质的无所不包理论”成为可能。事实上，我们是如此相信这个理论，以至我们亲切地称它为“标准模型”。

标准模型可以解释所有的关于亚原子粒子的实验数据，甚至可以解释大约1万亿电子伏特的能量（用1万亿伏特的电压加速一个电子而产生的能量）。这大约是目前在运转的原子加速器的极限。因此，可以毫不夸张地说，标准模型是科学史上最成功的理论。

根据标准模型，每种结合各种粒子的力都是通过交换不同种类的量子产生的。现在让我们单独讨论每种力，然后将它们组装成标准模型。

强力

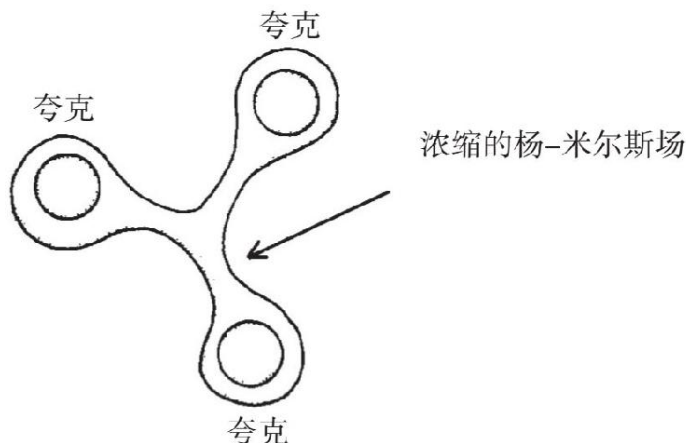
标准模型认为，质子、中子和其他重粒子并非基本粒子，基本粒子是由一些更小的被称为夸克的粒子构成。反过来，这些夸克又具有各种类型：三“色”和六“味”（这些名字与实际的颜色和味道无关）。这些夸克也有与它们配对的反物质——反夸克。（反物质在所有的方面都与物质相同，反物质所带的电荷与其配对物质的电荷相反，它通常与物质接触后就会湮灭。）这样，夸克的总数是$3\times6\times2=36$（个）。

同样，夸克通过交换较小的称为胶子的小能量包结合在一起。在数学上，这些胶子用杨-米尔斯场描述，它“凝结”成一个黏黏的像乳脂糖一样的物质将夸克永远“胶”在一起。胶子场是如此强大，以至夸克紧紧地结合在一起永远不会彼此撕裂。这就是所谓的夸克禁闭，这也解释了为什么在实验中从未发现过自由夸克。

例如，质子和中子可以比作由一根Y形的带子（胶子）以流星锤的式样结合在一起的3个小钢球（夸克）。其他的强相互作用的粒子，如π介子，可以比作1个夸克和1个反夸克通过一个单一的带子连在一起（图5.3）。

质子

中子



介子

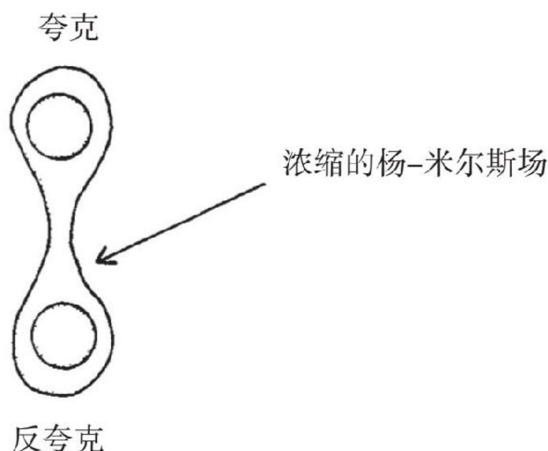


图5.3　强相互作用粒子实际上是由更小的叫做夸克的粒子构成的，是通过像乳脂糖一样的“胶”结合在一起的，可以用杨-米尔斯场描述。质子和中子各由3个夸克构成的，介子是由1个夸克和1个反夸克构成。

显然，通过触动这样安排的钢球可以让这个奇妙的装置振动。在量子世界中，只有一组离散的振动是允许的。这组钢球或夸克的每一个振动对应于不同类型的亚原子粒子。因此，这个简单的（但强大的）图片解释了一个事实，即有无限数量的强相互作用的粒子。这部分描述强作用力的标准模型被称为量子色动力学（QCD）即色彩力的量子理论。

弱力

在标准模型中，弱力控制“轻子”（如电子、μ介子、τ介子和与它们配对的中微子）的性质。像其他力一样，轻子通过交换量子而相互作用，这些量子称为W和Z玻色子。在数学上，这些量子也由杨-米尔斯场描述。与胶子力不同，由于交换W和Z玻色子产生的力太弱，甚至不足以将轻子束缚成一个共振体，所以我们并未在原子加速器中看见无数的轻子。

电磁力

标准模型包括了与其他粒子相互作用的麦克斯韦理论。控制电子和光相互作用的标准模型的这一部分称为量子电动力学（QED），它被实验验证是正确的，误差仅为一千万分之一，在技术上它是历史上最精确的理论。

总之，50年的研究成果，以及几亿美元的政府资金，给了我们以下的亚原子物质的画面：所有的物质都是由夸克和轻子，通过交换不同类型的量子相互作用的，这些量子由麦克斯韦场和杨-米尔斯场描述。简言之，我们找到了上个世纪对亚原子领域的研究为什么不成功的原因。从这个简单的画面中，我们可以从纯粹的数学中获得所有物质的无数的和令人困惑的特性。虽然现在看来一切都很容易，但标准模型的创造者之一诺贝尔奖得主温伯格曾回忆——发现这个模型的50年旅程是如何的曲折。他写道：“理论物理学有一个悠久的传统，它绝不会影响到每一个人，但一定会影响到我。那就是，强相互作用太复杂了，人类的思维难以掌握。”



物理学中的对称

标准模型的细节实际上相当枯燥且也没有那么重要。标准模型最重要的特点是，它以对称性为基础。对物质（木头）进行这种研究的动因，正是因为我们能在这每一种互相作用中看到明白无误的对称性。夸克和轻子不是随机的，而是以确定的模式出现在标准模型中。

当然对称性不完全是物理学家的领域。艺术家、作家、诗人和数学家们也一直欣赏这种在对称性中发现的美。对诗人威廉·布莱克（William Blake）来说，对称具有神秘性，甚至是令人畏惧的性质。正如在他的诗《老虎！老虎！燃烧着辉煌的火光》中表达的：

老虎！老虎！黑夜的森林中，
燃烧着的辉煌的火光，
是怎样的神手或天眼，
才能造就你那可怕的对称？

对数学家路易斯·卡罗尔（Lewis Carroll）来说，对称是一个熟悉的，几乎是好玩的概念。在《斯纳克打猎》的诗中，他抓住了对称的本质，他写道：

你用锯末煮它，
你用胶水把它加盐，
你用胶带把它和洋槐凝聚在一起，
看上去却仍然保持着一个主要目标——
维持它那对称的形状。

换句话说，对称性就是把物体变换形状或旋转之后，它的形状仍然保持不变。有几种对称性在自然界中反复出现。第一种是旋转和反射的对称性。例如，我们将雪花旋转60度，它仍然保持原样。对称的万花筒、花、海星都属于这种类型。我们将它们称为时空对称性，它是将某一物体绕某一维空间或时间旋转而产生的。狭义相对论的对称性就属于这个类型，因为它描述了空间和时间之间的旋转。

另一种类型的对称性，是通过重组一系列对象而创建的。思考一个贝壳游戏，小贩不断变换三个贝壳的位置，其中1个贝壳下藏着1颗豌豆。这种游戏的困难在于，可以有多种方式来组合这三个贝壳。事实上，有6种不同的方式可以转换这三个贝壳。由于豌豆是隐藏在贝壳之下的，这6个配置对看不见豌豆的观察者来说并无区别。数学家喜欢给

这些不同的对称性命名，这个游戏的对称性的名字叫“S_3”。它描述3个相同的物体进行互换可以有多少种不同的方式存在。

我们用夸克代替贝壳，那么，当我们将夸克打乱重组后，粒子物理方程必须保持原样。如果我们重组3个有色夸克且方程保持原样，那么，我们就说该方程具有SU（3）的对称性。这里的3代表有3种颜色，SU代表此对称性的一个特定的数学性质（SU代表“特殊酉”矩阵，即矩阵具有单位行列式且为酉矩阵）。我们说有3个夸克处于某个多重态。处于多重态的夸克，可以打乱彼此后重组而不改变这种理论的物理内容。

与此相似，弱力控制着电子和中微子这两种粒子的性质。交换这些粒子仍保持方程不变的对称性，被称为SU（2）对称性。这意味着弱力的多重态包含1个电子和1个中微子，它们可以通过旋转而互相转换。最后，电磁力有U（1）的对称性，它将麦克斯韦场的各个分量旋转成它的本身。

这些对称性都是非常简单而优雅的。然而，标准模型最有争议的一面是——它简单地将三种理论拼凑成一种大的对称性理论，从而把三种基本力统一了起来。这种大的对称性是SU（3）×SU（2）×U（1），它只是各个力的对称性之积。（我们可以与拼图游戏相比较。如果我们有3块不太合适的拼图，我们可以用胶带将它们拼接起来。这就是标准模型的形成方式，通过带子将3种不同的多重粒子捆在一起。这也许不美观，但至少3个拼图通过带子连在一起了。）

理想上，人们也许希望有一种“终极理论”，可以使所有的粒子都处在一个单一的多重态中。不幸的是，标准模型有3种不同的多重态，且彼此不能旋转。



超越标准模型

标准模型的发起人可以诚实地说该模型适合所有已知的实验数据。他们可以正确地指出，没有实验结果是与标准模型相矛盾的。然而，没有人，甚至连最狂热的拥护者都不认为它是物质的最终理论。有几个深刻的原因让它不能成为最终的理论。

首先，标准模型不描述引力，所以它必然是不完整的。当试图将爱因斯坦的理论与标准模型结合起来时，由此产生的理论给出了荒谬的答案。譬如说，当我们计算一个电子被引力场偏转的概率时，混合理论给出了一个无限大的概率，这是毫无意义的。物理学家说，量子引力是不能重整化的，这意味着它不能产生合理的、有限的数字来描述简单的物理过程。

其次，也许是最重要的，标准模型很丑，因为它粗鲁地将三个截然不同的相互作用拼接在一起。就我本人的观点来看，我认为标准模型可以比喻为交叉三种完全不同的动物，如骡子、大象和鲸鱼。事实上，它是如此勉强和不自然，甚至它的创造者也感到有几分窘迫。他们首先为自己的缺点道歉，并承认它不能成为最终的理论。

当我们写下夸克和轻子的细节时，就明显地看出它是勉强的。为了描述这个理论有多勉强，让我们列出标准模型中的各种粒子和力：

1．36个夸克，分为“六味”和“三色”，夸克和与它们配对的反物质描述了强互相作用。

2．8个杨-米尔斯场描述将夸克结合在一起的胶子。

3．4个杨-米尔斯场描述弱力和电磁力。

4．6种轻子描述弱相互作用（包括电子、介子、轻子和中微子，它们各自的中微子的对应物）。

5．为了搪塞大众的大量的神秘的“希格斯”粒子和描述粒子的常数。

6．至少有19个描述粒子质量和各种相互作用强度的任意常数。这19个常数必须人为定义，它们并非任何理论所决定。

更糟糕的是，这一长串的粒子可以被分解为三个“家族”的夸克和轻

子，它们彼此间难以实际区分。事实上，这三个家族似乎是彼此精确的复制品，就假想的“基本”粒子的数目而言，成了三重的累赘（图5.4）。（令人不安的是，我们知道，现在有大量更“基本”的粒子出现，它们超过了到20世纪40年代为止所发现的亚原子粒子的总数。这使得人们急于希望知道这些基本粒子究竟基本到什么程度。）



图5.4　在标准模型里，第一代粒子由“上”和“下”夸克（三种颜色，还有它们相应的反粒子），电子和中子组成。标准模型令人尴尬的性质是存在三代这样的粒子，每一代都是前一代的几乎相同的复制品。很难相信自然会这样的累赘，要在基本水平上创造三个相同的粒子复制品。

标准模型的繁琐与爱因斯坦方程的简单形成了鲜明对比。爱因斯坦方程中的一切都是从第一原理推导出来的。为理解标准模型和爱因斯坦的广义相对论的美学对比，我们必须首先认识“美”的概念。物理学家通常说一个理论“美”时，这个理论至少拥有两个基本特点：

1．一个统一的对称性。

2．具有用最经济的数学表达式解释大量实验数据的能力。

标准模型在这两个方面都是失败的。正如我们所看到的，标准模型的对称性实际上是由三个较小的对称性拼接而成，它们分别对应着三种力。其次，该理论在形式上是笨拙且不便利的，当然也是不经济的。例如，我们将爱因斯坦的方程全部书写出来，其长度也仅有1英寸（2.5厘米）长，甚至填不满这本书的一行。通过这样的简单方程，我们可以超越牛顿定律推导空间弯曲、大爆炸，以及其他天文学上的重要现象。然而，要写下标准模型的全部公式将需要这页纸的三分之二，它看起来就像一大堆的复杂符号的集合。

科学家们相信，自然在其创生时就喜欢经济。它在创造物理学、生物学和化学的结构时似乎总是避免不必要的冗余。大自然创造熊猫、蛋白质分子或黑洞时，它很珍惜自己的设计。或者，如同诺贝尔奖获得者杨振宁曾说过的那样，“大自然似乎利用了‘对称定律’的简单数学表述。当人们停下来考虑数学推理的优雅与完美，将它与复杂的和影响深远的物理后果相对照时，就不得不对‘对称定律’的力量产生深深的尊敬”。然而，在最基本的层面上，我们发现了一个严重违反这一规则的情况。这三个相同家族中的每一个都与一批奇特的粒子相联系，它们的存在是标准模型最令人担忧的性质之一。它们向物理学家提出了一个历久不衰的难题：标准模型这个在科学史上极其成功的理论，只是因为它的繁琐而遭到抛弃吗？



美是必要的吗？

我曾经在波士顿参加过一场音乐会，在那里，人们明显地被贝多芬《第九交响曲》的强大震撼力所撼动。音乐会结束后，丰富的旋律仍在我脑海中回荡。我碰巧从空荡的乐池边走过，在这里，我注意到一些人惊奇地盯着音乐家们留下的乐谱。

我想，在外行的眼中，即便是最感人的乐章的音符也只是一些难以辨认的波纹状的东西。它们在表面上看更像一堆莫名其妙的涂鸦，并非一件美丽的艺术作品。然而，对训练有素的音乐家来说，乐谱上的各样的符号：谱线、谱号、乐调、升半音号、降半音号、单音都变得活生生的，并与心灵共鸣。音乐家只要扫一下乐谱就能“听到”美丽的和声与丰富的共鸣。因此，乐谱超越了其线条的总和。

同样，将诗定义为“按照一定的原则组织起来的短词的集合”也是不对的。这个定义是乏味的，也是不准确的，因为它没有考虑到诗和它在读者中激起的情绪之间微妙的互相作用。诗是精练的，它传达了作者的感情精髓和想象。所以诗比打印在纸上的词有更大的现实意义。例如，短短几句诗就可以把读者带入一个新的知觉和感觉的境界。

如同音乐或艺术那样，数学方程式也有着自然的进程和逻辑，它们能在科学家中激起异乎寻常的热情。虽然，外行人认为数学方程式晦涩难懂，但在科学家的眼中，数学方程式就像大交响乐中的乐章。

简单、优雅，激发了伟大的艺术家创造他们的杰作。简单、优雅，也激励了科学家努力寻找自然规律。就像一个艺术作品或一首难以忘怀的诗，方程式有其自身的美与韵律。

物理学家理查德·费曼（Richard Feynman）表达了这一点，他说道：

> 你可以通过美丽与简单来认识真理。当你领会了这点后，它是正确的就非常明显了（至少在你有一些经验的情况下是这样），因为通常发生的是直觉多于领悟……外行、狂想者，以及诸如此类的人对真理作出简单的猜想，你能立刻看到它们的错误，因此你无须考虑它们。此外，没有经验的学生对真理会作出非常复杂的猜测，这看起来仿佛是正确的，但我知道这并不正确，因为真理总比你最初的设想更简单。

法国数学家亨利·庞加莱（Henri Poincare）甚至更加坦率地表示："科学家研究自然，并非因为自然有用。科学家研究自然，是因为他们喜欢自然。他们喜欢自然是因为自然的美丽。如果自然不是美丽的，就不值得科学家去研究；如果自然不值得研究，科学家的生活就失去了意义。"在某种意义上，物理方程就像大自然的诗。它们是短的，是按照一定原则组织起来的，它们最美的东西是传达自然隐藏的对称性。

例如，我们记得麦克斯韦方程最初由8个方程组成。这些方程并不"美"，因为它们并不拥有很多对称性。在它们原来的形式下，它们是丑陋的。但它们是每一个靠雷达、无线电、微波、激光或等离子研究来谋生的物理学家和工程师的"饭碗"。这8个方程的作用就像法律对律师的作用或听诊器对医生的作用。然而，当把时间作为第四维度重写这组难看的方程之后，它将被简化为一个单一的张量方程。这就是物理学家所说的"美"，因为它同时满足了之前提到的两个准则。通过增加维数，我们揭示了该理论的真实的四维对称性，并可以用这一简单方程来解释大量的实验数据。

正如我们多次看到的，增加更高维度导致自然法则简化。

今天，科学面临的难题之一是解释这些对称性的起源，尤其是在亚原子世界里。当强大的机器以超过1万亿电子伏特的能量猛烈轰击原子核并将其炸开之后，我们发现这些碎片可以根据它们的对称性排列起来。当我们探测亚原子的距离时，一些异乎寻常且珍贵的事情开始发生。

然而，科学的目的并非对自然规律的优雅发出惊叹，而是为了对它们作出解释。从历史的观点看，亚原子物理学家面临的基本问题是，我们不清楚为什么这些对称性会出现在我们的实验室里和我们的黑板上。

这正是标准模型失败的原因。不管该理论曾取得过怎样的成功，当今的物理学家普遍认为，它必须被某种更高明的理论所取代。确定"美"的两项条件，它都不能满足。它既没有单一的对称性群，又不能经济地描述亚原子世界。更重要的是，标准模型并不能解释这些对称性的起源。它们只是通过命令而拼凑起来，人们对它们的起源知之甚少。



大统一理论（GUT）

原子核的发现者，物理学家欧内斯特·卢瑟福曾说过：“所有的科学，要么是物理学，要么是集邮。”

他说这些话的意思是，科学由两部分组成。第一部分是物理学，它建立在物理定律或原理的基础上；第二部分是分类学（“昆虫收集”或邮票收集），这个名称源于希腊语，意为我们对那些一无所知的物质通过物质表面上的相似处进行归类。在这个意义上，标准模型并非真正的物理学，它更像集邮。标准模型根据一些表面的对称性安排亚原子粒子，但对称性从何而来却丝毫没有交代。

同样，当查尔斯·达尔文（Charles Darwin）把他的书命名为《物种起源》（*On the Origin of Species*）时，他对自然界动物多样性的逻辑解释远超越了分类学的范畴。物理学所需要的是一本与此相应的书，即《对称性起源》（*On the Origin of Symmetry*），它将为我们解释自然界中发现的对称性的原因。

因为标准模型有很大的人为性，所以多年来人们一直试图超越它，并取得了种种成功。有一项出色的尝试被称为大统一理论（GUT），在20世纪70年代非常盛行，它试图将强、弱和电磁量子的对称性安排到一个更大的对称群中［如，SU（5）、O（10）、E（6）］。大统一理论并非简单地拼接三种力量的对称群，而是试图从某种更大的对称性进行统一，这个对称性具有较少的常数和较少的假设。大统一理论的粒子数量大大超过了标准模型。大统一理论的优点是它用对称性群取代了标准模型的丑陋的对称性SU（3）×SU（2）×U（1）。大统一理论中最简单的对称性群被称为SU（5）。它虽然用了24个杨-米尔斯场，但这些杨-米尔斯场都属于一个单一的对称性，而不属于3种分开的对称性。

大统一理论的美学优势是把强相互作用的夸克和弱相互作用的轻子置于同一基础之上。例如，在SU（5）中，粒子的多重态由3个带色夸克、1个电子和1个中微子构成。在SU（5）旋转之下，这5个粒子可以彼此旋转，而不改变物理规律。

起初，大统一理论遭到了强烈的质疑，因为统一这三种基本力的能量为10^{24}电子伏特，只比普朗克能量稍小一点。令人沮丧的是，这个数值仍然超过了地球上任何一个原子加速器所能产生的能量，这是不受学者们欢迎的。然而，当物理学家们意识到大统一理论能够明确地、可检验地预测质子衰变时，他们逐渐开始热衷于大统一理论这种想法。

我们记得，在标准模型的SU（3）之类的对称性中3个夸克可以彼此旋转。也就是说，这一种多重粒子由3个夸克组成。这也意味着在一定的条件下，一个夸克可以变成另一个夸克（如杨-米尔斯粒子的交换）。然而，夸克不能转变为电子、多重粒子不能相混。但在大统一理论的SU（5）中，一个多重粒子中有5个粒子且可以彼此旋转：3个夸克、1个电子和1个中微子。这意味着，在某些情况下，人们可以把质子（由夸克组成的）转换为电子或中微子。换句话说，大统一理论认为质子（我们在很长一段时间都认为质子是寿命最长且最稳定的粒子）是不稳定的。原则上，这也意味着宇宙中的所有原子最终会蜕变为辐射。如果这是正确的话，它就意味着初等化学课上所讲的那些稳定的化学元素实际上都是不稳定的。

这并不意味着我们身体中的原子会很快分解，变成一阵辐射。我们通过计算得出，质子衰变为轻子的时间为10^{31}年。这个时间远超出了宇宙的寿命（150亿—200亿年）。虽然这个时间尺度如天文数字那般长，但却并未难倒实验学家。因为普通的一罐水中包含的质子为数众多，所以即便质子衰变的平均时间具有宇宙学时标，水罐中的部分质子将会发生衰变的概率还是可以测定的。



搜索质子衰变

几年之内，这个抽象的理论计算被付诸检验：世界各地的几个物理学家小组进行了几项耗资数百万美元的实验。物理学家们需要建造一个具备高敏感度的足以检测质子衰变的探测器，这需要使用昂贵的费用和精密复杂的技术。首先，实验物理学家们需要构建巨大的缸用以探测质子衰变。其次，他们必须用富含氢的流体（如水或清洗液）填满整个缸。这些流体需要用特殊的技术过滤，以消除杂质和污染物。最重要的是，他们不得不将这些巨大的缸深埋地下，从而避免遭受穿透力很强的宇宙射线的污染。最后，他们必须建造数千个高度灵敏的探测器来记录质子衰变产生的亚原子粒子的模糊轨道。

值得注意的是，至20世纪80年代末，在世界各地有6个巨型探测器在运行，如日本的神冈探测器和美国俄亥俄州克利夫兰附近的IMB（尔湾、密歇根、布鲁克黑文的英文简写）探测器。它们含有大量的纯液体（如水），重量范围从60吨到3300吨不等。（IMB检测器是世界上最大的检测器，它安装在伊利湖底一个体积为20立方米的盐矿空穴中。在纯净水中自发地衰变的质子会产生一个微小的光爆发，而这些光会被检测器的2048个光电管中的某些光电管检测到。）

为了知道这些巨大的探测器是如何测量质子寿命的，我们可以将美国人口问题作为类比。我们知道，普通美国人都渴望自己活到70岁。然而，我们并不必等70年后才通过死亡确定美国人的寿命。因为美国人非常多，事实上美国人口甚至超过了2.5亿，几乎每隔几分钟就会有一些美国人死去。同理，最简单的SU（5）大统一理论预言，质子的半衰期大约为10^{29}年——10^{29}年后，宇宙中一半的质子会发生衰变（半衰期是物质衰变一半所需的时间。经过两个半衰期，物质只剩下四分之一）。（相比之下，这大约要比宇宙本身的寿命长10^{19}倍。）虽然这似乎是超长时间的生命，但探测器应该能看到这些稀有的、转瞬即逝的事件。因为探测器将检测到数量巨大的质子。事实上，每吨水中都含有超过10^{29}个质子。有了这么多质子，人们就可以预期每年都会有一些质子发生衰变。

但是，无论实验物理学家等待多长时间，他们也没能看到任何质子衰变的明确证据。目前看来，质子的寿命似乎大于10^{32}年，这就排除了较简单的大统一理论，但更复杂的大统一理论仍然是具有可能性的。

最初，媒体对大统一理论产生了一定程度的兴奋。对于物质的统一理论的追求和对质子衰变的探索也引起了科学工作者和作家的关注。大

统一理论在大众电视的“新星”节目几次播出，通俗读物与科学杂志中的大量文章也记录了有关它的内容。然而，及至20世纪80年代末，这种大张旗鼓的宣传偃旗息鼓了。无论物理学家等待质子衰变的时间有多久，质子总是不合作。寻找这一事件的各个国家花费了数千万美元，但却失望而归。公众对大统一理论的兴趣开始渐渐消退。

质子仍可能在衰变，大统一理论仍有可能得到实证，但现在的物理学家将大统一理论吹捧为“终极理论”时却谨慎多了。我们谈谈具体原因。像标准模型一样，大统一理论并未提到引力。如果我们简单地将大统一理论和引力组合起来，这种理论将产生一些无穷大的数，而这是没有意义的。像标准模型一样，大统一理论也是不能重整化的。况且，该理论是在巨大的能量下被定义的，这时我们预期一定会出现引力效应。因此在大统一理论中缺少引力这一事实是一个严重的缺陷。此外，它也为存在着3个相同的粒子家族所困扰。最后，该理论不能预测诸如夸克质量之类的基本常数。大统一理论缺乏更大的物理原理，这种原理可以从第一原理出发确定夸克的质量及其他常数。归根到底，大统一理论似乎还是属于集邮类型的理论。

根本的问题是，杨-米尔斯场不足以提供用来统一所有四种互相作用的“胶”。杨-米尔斯场所描述的木头世界不足以阐明大理石的世界。

经过半个世纪的蛰伏，“爱因斯坦复仇”的时机已经来临。

6　爱因斯坦的复仇

超对称是一个所有粒子完整统一的最终方案！

——阿伯达斯·萨拉姆（Abdus Salam）



卡鲁扎-克莱因理论的复活

寻求量子理论与引力的统一，被称为“人类历史上最大的科学难题”。大众传媒称它为“物理学圣杯”，由此产生的理论称为“万物理论”。这是困扰20世纪最有智慧的人的最大难题。毫无疑问，解决这个问题的人将获得诺贝尔奖。

20世纪80年代，物理学的发展陷入了僵局。引力顽固地单独站在一边，游离于其他三种力之外。具有讽刺意味的是，虽然引力的经典理论通过牛顿的工作最先被人们认知，但引力的量子理论却是最晚被物理学家认识的一种互相作用。

物理学的所有巨人都在试图破解这个难题，均以失败告终。爱因斯坦将他生命的最后30年悉数奉献给了他的统一场论。伟大的量子理论的奠基者之一沃纳·海森堡（Werner　Heisenberg）也未能成功。海森堡将他生命的最后几年全部用于统一场论的研究，还出版了一本专论这一主题的书。1958年，海森堡在电台广播中说道，他和他的同事沃尔夫冈·泡利（Wolfgang　Pauli）终于成功地找到了统一场论，只是还缺少一些技术细节。［当新闻界透露出这个惊人的消息后，泡利对海森堡过早地向公众宣布这个消息感到不满。泡利给他的合作者寄了一封信，这封信是一张只有标题的空白信纸——“此图表明我能像画家提香（Titian）那样描绘世界，所缺少的只是一些技术细节。”］

那年的晚些时候，沃尔夫冈·泡利终于做了一个海森堡-泡利统一场论的报告，许多热心的物理学家们在观众席上急切地想听到那些缺失的细节。然而，泡利的演讲结束后，得到了各样的反应。尼尔斯·玻尔最后站起来说：“我们一致认同你的理论是疯狂的，我们的分歧在于它是否足够疯狂。”事实上，人们在“最后的综合”上做出了太多的尝试，以致造成了怀疑论的反弹。诺贝尔经济学奖获得者朱利安·施温格（Julian Schwinger）说，“这只是一种精神上的冲动折磨着历代的物理学家，因为物理学家都希望在自己的有生之年得到所有基本问题的答案。”

然而，到了20世纪80年代末，“木头的量子理论”在经过几乎半个世纪的连续成功之后，开始渐渐走向衰退。我能清楚地记得这一时期的年轻的筋疲力尽的科学家遭受挫折的感觉。每个人都感觉到，标准模型被它本身的成功所葬送。它是如此地成功，以致每一次的国际物理会议似乎只是批准它通过的一枚橡皮图章。所有的报告都在谈及“又找到了另一种成功的实验证明标准模型的正确”。在一次物理会议上，我向后看了听众一眼，我发现有一半的人在打瞌睡，而演讲的人却喋喋不休地阐述他

的实验数据与标准模型多么符合。

我觉得自己就像处于世纪之交的物理学家，其他物理学家似乎也面临着一个死胡同。他们花了几十年时间繁琐地填写各种气体的谱线数据表，或为越来越复杂的金属表面所满足的麦克斯韦方程求解。标准模型有19个自由参数，这些参数可以如收音机上的刻度盘那样任意地“调节”到任何值。我想，接下来物理学家们将花费几十年的时间用以寻找所有这19个参数的精确值。

革命的时间到了。吸引下一代物理学家的是大理石的世界。

当然，有几个深奥的难题挡住了确立真正的量子引力理论之路。构造引力理论的一个难题是——引力实在太微弱。例如，需要整个地球的质量才能保持办公桌上的一张纸待在桌上。然而，我用梳子梳头发就可以克服地球的引力，将这张纸吸附起来。梳子里的电子的力量似乎比整个行星的引力更强大。同样地，如果原子核试图用引力（而不是用电力）吸引电子来构造原子，那么这个原子将会有宇宙那般大小。

从经典力学的角度出发，引力与电磁力相比是可以忽略的，因此测量引力是非常困难的。但是，如果我们设法建立一种量子引力理论，局面就扭转了。引力引起的量子修正是普朗克能量的数量级（或10^{28}电子伏特），这远超出了本世纪地球上任何可用的能量。当我们试图构建一个完整的量子引力理论时，这种令人困惑的情况进一步加深了。我们回忆一下，当量子物理学家试图对一种力量子化时，他们通常会将这个力分解为若干微小的能量包，我们称这些能量包为量子。如果你盲目尝试将引力理论量子化，那么类似地，你会推测它通过交换微小的引力包来起作用，这个引力包被称为引力子。在物质之间快速交换引力子，使物质被引力束缚起来。在这种绘景中，使我们留在地面而不至于以每小时上千英里的速度飞入太空，乃是我们看不见的无形的微小的不计其数的引力子的交换所致。一直以来，物理学家们都在努力尝试通过简单的计算以推算出对牛顿和爱因斯坦引力定律的量子修正。但他们发现，其计算结果是无穷大的，因而毫无用处。

例如，我们研究两个带电的中性粒子彼此碰撞时会发生什么。为了绘制这个理论的费曼图，我们必须采取近似计算的方法。我们假设空间-时间的曲率非常小，因此黎曼张量接近1。我们假设空间-时间接近平直，不弯曲，我们将度规张量的分量分解为$g_{11} = 1 + h_{11}$（1表示我们方程中的扁平空间，h_{11}表示引力场）。（当然，爱因斯坦会害怕量子物理学家用这种分解度规张量的方式毁坏他的理论。这就像用大锤砸碎一块漂亮的大理石。）在这个切割完成之后，我们得到了一个看似常规的量子理论。如图6.1（a），我们看到这两个中性的粒子交换了一个引力量子，它用场h标记。当我们将所有的圈图求和时，问题就出现了。问题在于我们发现所有回路图总和起来都是发散的，如图6.1（b）。对于杨-米尔斯场，我们可以用聪明的灵巧的手法变动这些无限量，直至他们消除或者被吸收到无法测量的量中。然而，可以证明，我们将重整化方法

应用到量子引力理论时总是失败。事实上，物理学家半个多世纪以来的消除或吸收这些无穷大的努力都是徒劳。换句话说，试图用暴力将大理石粉碎成碎片失败了。

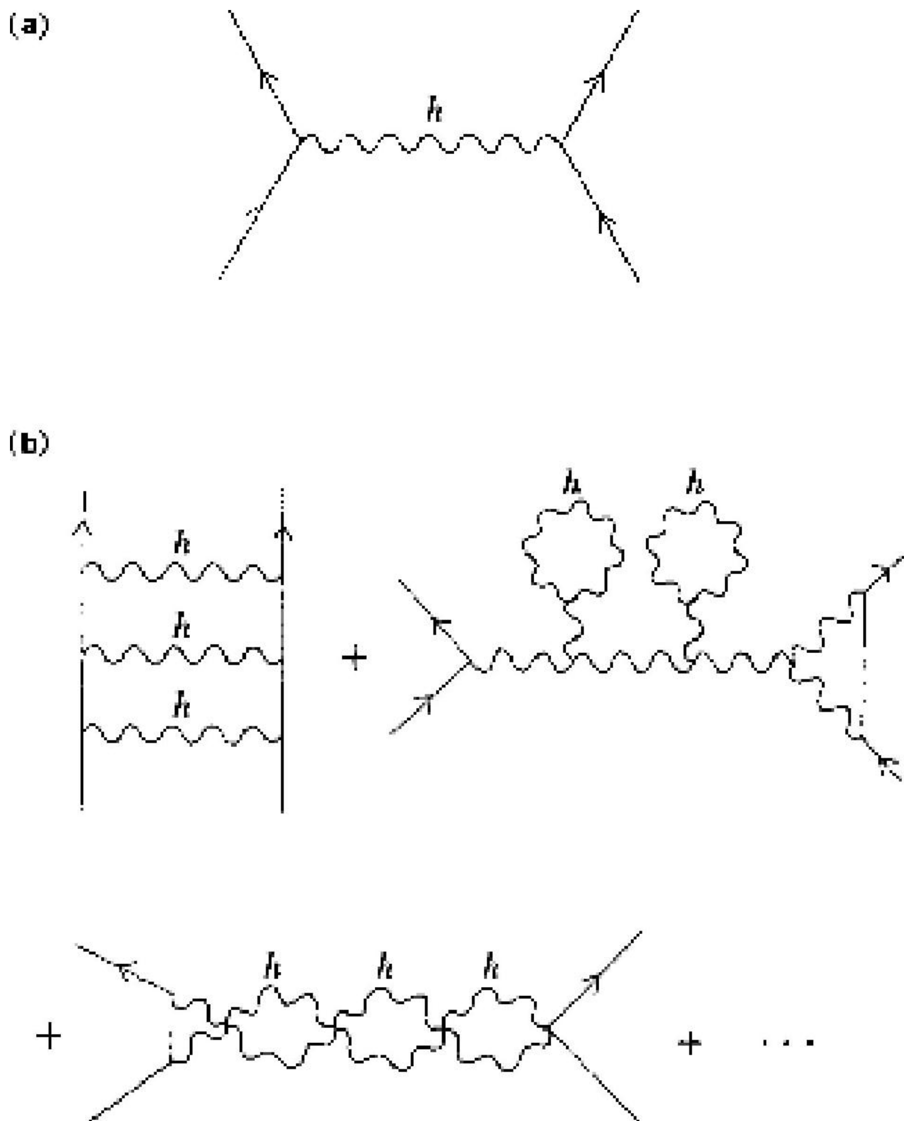


图6.1　（a）在量子理论中，引力量子称为引力子，用h表示。引力子是通过分解黎曼度规形成的。在这个理论中，物质通过交换这种引力包相互作用。用这种方式，我们完全失去了爱因斯坦的美丽的几何描述。（b）不幸的是，所有的在其内部有回路的图形（圈图）都无穷大，使引力与量子理论在过去半个世纪不能统一。将引力和其他力统一起来的量子引力理论仍是物理学“圣杯”。

20世纪80年代初，一种奇妙的现象出现了，休眠了60年的卡鲁扎-克莱因理论开始苏醒。物理学家们在试图统一引力和其他的量子力时受挫且毫无办法时，他们开始克服对不可见维和超空间的偏见。他们已准备采用某种替代方案，那就是卡鲁扎-克莱因理论。

已故物理学家海因茨·帕格尔斯总结卡鲁扎-克莱因理论复活所产生的兴奋：

> 20世纪30年代之后，卡鲁扎-克莱因思想逐渐失去了支持。但是，近来物理学家们寻找统一引力与其他力的所有可能的途径时，它又再次跳了出来。今天，与20世纪20年代相比，物理学家们面临的挑战不仅是将引力与电磁学统一起来，他们还想把引力与弱相互作用和强相互作用统一起来。这需要更多的维度，而不只是停留在第五维度。

即使是诺贝尔奖得主史蒂文·温伯格（Steven　Weinberg）也被卡鲁扎-克莱因理论激起的热情所感染。然而，仍有些物理学家对卡鲁扎-克莱因理论的复兴持怀疑态度。哈佛大学的哈沃德·乔吉（Howard Georgi）提醒温伯格，从实验上观测这些蜷缩起来的维度是多么困难时，他作了下面的诗：

> 史蒂文·温伯格从得克萨斯回来，
> 带来很多困扰我们的维度，
> 但一切多余的维度都卷成了小球，
> 它是多么微小啊，与我们毫不相干。

虽然卡鲁扎-克莱因理论仍然不可重整化，但人们之所以对这个理论产生强烈的兴趣是因为它给出了用大理石建立某种理论的希望。将丑陋的杂乱无章的木头变成纯粹的优雅的几何大理石，当然是爱因斯坦的梦想。但在20世纪30—40年代，人们对木头的本质几乎一无所知。然而，到了20世纪70年代，标准模型最终解开了木头的秘密：物质是由夸克和轻子构成的，且由杨-米尔斯场结合起来，服从SU（3）×SU（2）×U（1）对称性。问题是如何从大理石导出这些粒子和神秘的对称性。

起初，这似乎是不可能的。毕竟，这些对称性是点粒子之间相互交换的结果。如果在一个多重粒子中的N个夸克彼此打乱后重组，那么对称性是SU（N）。这些对称性似乎是木头独有的对称性，而并非大理石的对称性。SU（N）与几何学又有什么关系呢？



把木头变成大理石

20世纪60年代出现了一条小小的线索。那时，使物理学家们高兴的是，他们发现了另一种把对称性引进物理学的方法。当物理学家们将旧的五维卡鲁扎-克莱因理论扩展到*N*维时，他们意识到在超空间中可以自由地施加对称性。当第五个维度蜷缩起来时，他们看到麦克斯韦场突然跳出了黎曼度规。当第*N*个维度卷曲起来时，物理学家发现著名的杨-米尔斯场（标准模型的关键）跳出了它们的方程！

要明白对称性是如何在空间中出现的，我们可以观看一个普通的沙滩球。它有一个对称性：围绕它的中心旋转沙滩球保持形状不变。一个沙滩球或一个球体的对称性称为O（3），或称为三维中的旋转。同样地，在更高的维度一个超球也可以绕其中心旋转并保持形状不变。超球具有的对称性称为O（N），或称为*N*维中的旋转。

现在考虑让这个沙滩球振动。在球的表面形成了波纹。如果我们以某种方式小心地振动这个沙滩球，就可以在它上面引起规则的振动，这就是所谓的共振。与普通的波纹不同，这些共振只能以某些确定的频率振动。事实上，如果我们足够快地振动这个沙滩球，就可以产生出某个确定频率的音调。反之，这些振动又可由对称性O（3）进行分类。

像沙滩球一样，膜也能产生共振频率，这一事实是一种普遍的现象。例如，我们喉咙里的声带是一些被拉伸的膜，它在一定频率或共振下振动，从而产生音调。另一个例子是我们的听力。不同类型的声波撞击我们的耳膜，然后在一定的频率下产生共鸣。这些振动随后被转化为电信号发送到我们的大脑中，大脑将它们解读为声音。这也是隐藏在电话背后的原理。电话中的金属膜片被电话线中的电信号激发驱动，金属膜片产生机械振动或共振，从而产生了我们在电话中听到的声波。这也是立体声扬声器以及管弦乐队的鼓背后暗含的原理。

对于超球而言，效果也是一样的。它就像膜一样，可以在不同的频率下共振，这些频率又可以由它的对称性O（N）确定。另一方面，数学家们早已设想过在更高的维度上用复数来描述其更复杂的表面（复数使用-1的平方根$\sqrt{-1}$）。然后可以直截了当地证明，与复数“超球”对应的对称性是SU（N）。

关键点是：如果粒子的波函数沿着这个表面振动，它将继承这个SU（N）对称性。因此，在亚原子物理学中出现的这种神秘的对称性

SU（N）可以被看作是超空间振动产生的副产品！换句话说，我们现在对木头的神秘对称性的起源有了一个合理的解释：它们实际上是来自大理石的隐藏的对称性。

现在，如果我们取一种定义在$4+N$维中的卡鲁扎-克莱因理论，然后把N维蜷缩起来，我们会发现方程被分裂为了两块。第一块是通常的爱因斯坦方程，这是我们希望找到的。但第二块却不是麦克斯韦理论。我们发现，余下的正好是形成所有亚原子物理学基础的杨-米尔斯场！它是所有亚原子物理学的基础。这是把木头对称性转变为大理石对称性的关键。

起初，木头对称性自动从高维中显现出来似乎很不可思议。木头对称性是通过不遗余力的尝试（检测原子加速器中产生的碎片）而被发现的。极难想象，通过将夸克和轻子打乱重组而发现的对称性会起源于超空间。一个类比或许可以帮助我们理解这个问题。物质也许可以比作没有规则形状和凹凸不平的黏土，它缺乏几何图案固有的美丽的对称性。然而，黏土可以被压入一个有对称性的模具。例如，这个模具旋转一定角度仍可以保持其形状不变，这块黏土也将继承模具的对称性。黏土（像是物质）继承了对称性，是因为模具（像是时空）具有对称性。

如果这是正确的，那就意味着我们在夸克和轻子之间看到的奇特的对称性现在可以被看作超空间中振动的副产品。例如，如果不可见维度的对称性为SU（5），那么我们就能把SU（5）大统一理论写为某种卡鲁扎-克莱因理论。

这也能在黎曼的度规张量中看到。我们记得，黎曼的度规张量与法拉第场极为相似，区别是度规张量拥有更多的分量。度规张量可以像棋盘的正方形一样排列。通过分离棋盘的第5行和第5列，我们可以从爱因斯坦场中分割出麦克斯韦场。现在用（$4+N$）维空间的卡鲁扎-克莱因理论变同样的戏法。如果从前4行和前4列中拆分第N行和第N列，就会得到一个既描述爱因斯坦理论又描述杨-米尔斯理论的度规张量。在图6.2中，我们已经画出了一个（$4+N$）维卡鲁扎-克莱因理论的度规张量。图中已把杨-米尔斯场和爱因斯坦场分离开来。

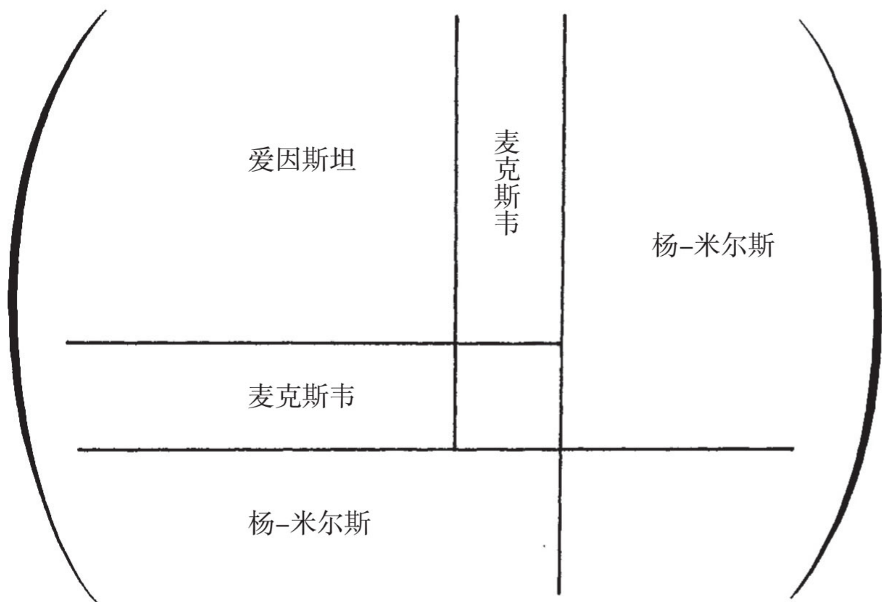


图6.2　如果进入N维，那么度规张量将是一连串的N^2个数，这些数可以排列成一个$N\times N$的方阵。我们将第5行和第5列以及随后的各行各列切掉，我们可以得到麦克斯韦电磁场和杨-米尔斯场。这样，超空间理论就允许我们一下子把爱因斯坦场（描述引力）、麦克斯韦场（描述电磁力）、杨-米尔斯场（描述弱力和强力）统一起来，这些基本力就像拼图板一样被拼接起来。

显然，得克萨斯大学多年从事量子引力研究的物理学家布莱斯·德维特（Bryce　DeWitt）是最先实施这种做法的物理学家之一。一旦找到了分解度规张量的诀窍，提取杨-米尔斯场的计算就很简单了。德维特认为，从N维引力理论分离杨-米尔斯场在数学上非常简单。他甚至将它作为家庭作业布置给了1963年参加法国莱苏什物理暑期学校学习的学生们。［彼得·弗罗因德（Peter　　Freund）最近披露，奥斯卡·克莱因早在1938年就独立发现了杨-米尔斯场，这要比杨振宁、米尔斯以及其他人的工作早几十年。在华沙举行的一次题为“新物理理论”的会议上，克莱因宣布，他能够推广麦克斯韦的工作包括更高的对称性O（3）。不幸的是，第二次世界大战使一切陷入了混乱，卡鲁扎-克莱因理论因量子理论的出现而被扼杀。随后，这项重要的工作被人们遗忘了。令人啼笑皆非的是，卡鲁扎-克莱因理论被量子理论的出现扼杀，量子理论现在又以杨-米尔斯场为基础，而杨-米尔斯场是首次通过分析卡鲁扎-克莱因理论发现的。在建立量子理论的狂热中，物理学家们忽视了源于卡鲁扎-克莱因理论的一项核心发现。］

将杨-米尔斯场从卡鲁扎-克莱因理论中提取出来只是第一步。虽然木头的对称性可以被看作是从看不见的维度隐藏的对称性而产生的，但下一步却是完全由大理石来创造（由夸克和轻子构成的）木头本身。下一步的理论将被称为超引力。



超引力

把木头变成大理石，仍然面临着一些棘手的问题。因为，按照标准模型，所有的粒子都在“自旋”。例如，我们现在知道木头是由夸克和轻子构成。夸克和轻子都具有1/2个量子自旋单位（以普朗克常数*h*测量），具有半整数（1/2、3/2、5/2、…）自旋的粒子被称为费米子［费米子以恩利克·费米（Enrico Fermi）的名字命名，费米是首位研究这些粒子奇异特性的物理学家］。然而，力是由具有整数自旋的量子来描述的。例如，光的量子光子有1个自旋单位。杨-米尔斯场也是如此。假设的引力包，引力子有2个自旋单位，它们被称为玻色子（以印度物理学家萨蒂延德拉·玻色命名）。

传统上，量子理论将费米子和玻色子严格分开。事实上，把木头变成为大理石的任何努力，都将不可避免地遇到一个事实——费米子和玻色子是性质不同的两个世界。例如，SU（N）可以将夸克打乱后重组，但费米子和玻色子却绝不能允许彼此相混。因此，当人们发现被称为“超对称”的新的对称性存在时，使人震惊的是它确实将费米子和玻色子混合了起来。超对称的方程允许一个玻色子和一个费米子相交换而仍然保持方程的原貌。换句话说，一个多重的超对称粒子是由同等数量的玻色子和费米子构成。通过在同一个多重粒子中重新组合玻色子和费米子，超对称方程保持不变。

这给了我们一个诱人的可能性——把宇宙中所有的粒子放进一个多重粒子中！正如诺贝尔奖得主阿伯达斯·萨拉姆（Abdus Salam）强调的，“超对称性是一个完全统一所有粒子的最终方案”。

超对称以一种新型的数学系统为基础，这种数学系统将使所有学校的老师发疯。大部分我们认知中的乘法和除法运算都不是超对称的。例如，a和b是2个“超数”（Super numbers），那么$a \times b = -b \times a$。当然，这对于普通的数而言是绝不可能的。通常情况下，学校的老师会将这些“超数”扔出窗外。因为如果你可以证明$a \times a = -a \times a$，那么，只有在$a \times a = 0$的条件下才会产生。如果它们是普通的数字，就意味着$a = 0$，数的系统彻底崩溃。然而，有了“超数”，数的系统就不会崩溃。一个相当惊人的结果是：即使$a \neq 0$，也可以出现$a \times a = 0$的结果。虽然这些“超数”违背了我们从小就学过的那些与“数”相关的一切知识，但它们都可以通过实证产生一个自洽且高度非凡的系统。值得注意的是，一个全新的超级微积分系统正建立在它们的基础上。

不久，纽约州立大学石溪分校的物理学家丹尼尔·弗里德曼（Daniel

Freedman）、塞尔吉奥·费拉拉（Sergio Ferrara）、彼得·范·纽温休泽恩（Peter van Nieuwenhuizen）于1976年建立了超引力理论。超引力理论是构造一个完全由大理石组成的世界的首次实际尝试。在超对称理论中，所有的粒子都有超配偶子，称为超粒子（sparticles）。纽约州立大学的超引力理论只包含两个场：自旋为2的引力子场（一种玻色子）和自旋为3/2的配偶子，后者被称为引力微子（意思是“几乎没有引力”）。因为这些粒子的数量还不足以把标准模型包括进来，人们又尝试将该理论耦合到更复杂的粒子中。

将物质包括在内的最简单的办法，是在十一维空间中建立超引力理论。为了在十一维中建立超卡鲁扎-克莱因理论，人们必须大量增加黎曼张量中的分量，将它变为超黎曼张量。为了理解超引力如何将木头变成大理石，我们写下度规张量，并说明超引力如何将爱因斯坦场、杨-米尔斯场和物质场写进一个超引力场中（图6.3）。本图的主要特征是，物质、杨-米尔斯场、爱因斯坦方程，都包容在同一个十一维的超引力场中。超对称性是在超引力场中把木头转变成大理石且反之亦然的对称性。于是，它们是同一种力的各种表现，这种力称为超力。木头不再作为单一的孤立的实体。它现在合并到大理石中，形成了超大理石（图6.4）！

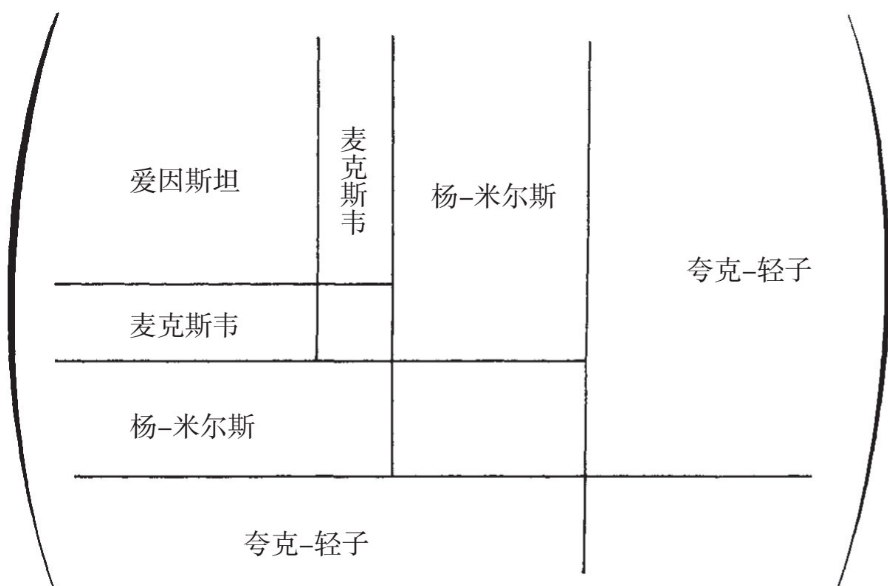


图6.3　超引力几乎圆了爱因斯坦的梦——给宇宙中所有的力和粒子一个纯粹的几何推导。为了说明这一点，我们将超对称性加入黎曼度规张量，该度规的大小就翻倍增长，成为超黎曼度规。超黎曼度规新的分量是夸克和轻子。通过将超黎曼度规分解，我们会发现它几乎包括了自然界所有的基本粒子和力：爱因斯坦的引力理论、杨-米尔斯场、麦克斯韦场、夸克和轻子。但在这一描述中还缺失某些粒子，这一事实迫使我们走向某种更具权威力的表述：超弦理论。

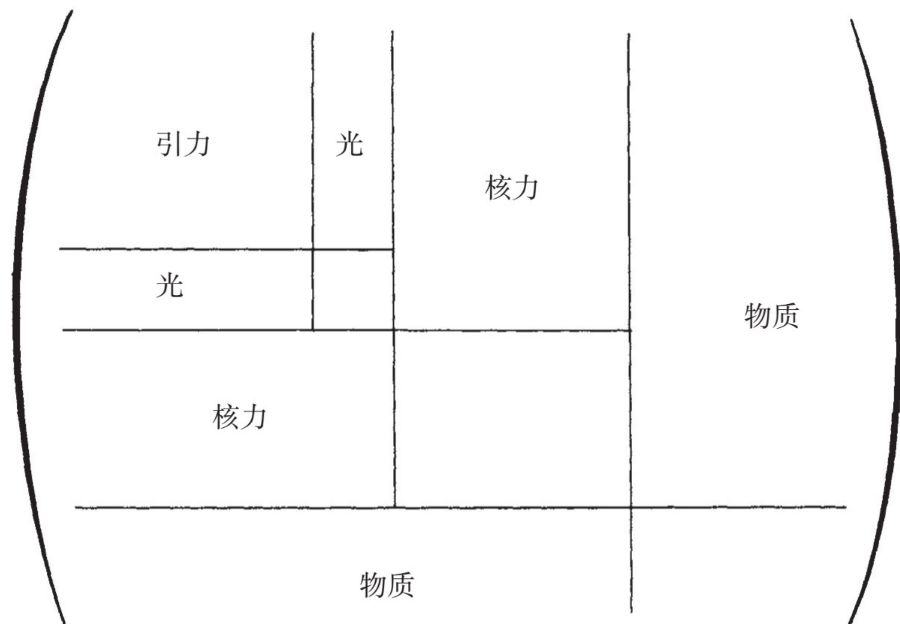


图6.4　在超引力中，我们几乎取得了所有已知的力（大理石）和物质（木头）的某种统一。像拼图一样，它们都装配在黎曼度规张量中。这几乎圆了爱因斯坦的梦。

这种超统一的意义给超引力的创始人之一，物理学家彼得·范·纽温休泽恩留下了很深的印象。他写到，超引力“可以将大统一理论……和引力结合在一起，得出一个几乎没有自由参数的模型。这是一个在费米子和玻色子之间具有局部的规范对称性的独特理论。它是已知的最美丽的规范理论。它是如此美丽，事实上，大自然应该意识到它！”

我印象深刻地记得自己出席过很多这样的超引力会议并作演讲。有一种强烈的、令人振奋的，我们正处在某个重要边缘的感觉。在莫斯科的一次会议上，我清楚地记得，一系列生动的祝酒词祝贺超引力理论的持续成功。似乎在60年的疏忽之后，我们终于实现了爱因斯坦的大理石世界的梦想。我们有些人开玩笑地称之为“爱因斯坦的复仇”。

1980年4月29日，宇宙学家史蒂芬·霍金（Stephen　Hawking）担任卢卡斯教授职位（这个位置以前是由一些物理学巨人担任的，包括艾萨克·牛顿和P．A．M．狄拉克）。他做了一次充满希望的演讲，题目是“这是理论物理的尽头吗？”

一位学生代他朗读：“我们近几年取得了很大的进步，正如我描述的那样，我们有理由谨慎地乐观。在座的一些人也许能够在有生之年看到一套完整的理论。”

超引力这个语语逐渐传播到普通公众之中，甚至在某些宗教团体中也开始有了追随者。例如，“统一”的概念是超脱静坐运动的核心信念。信徒们出版了大量宣传品，其中包含有描述十一维超引力的完整方程组。他们声称，方程中的每一个术语都代表着一些特殊的东西，如“和

谐”、“爱”、“兄弟情谊”等等。（这张海报挂在斯托尼布鲁克理论研究所的墙上。这是我第一次意识到理论物理学的一个抽象方程竟然可以激发宗教团体追随者的热情！）



超度规张量

彼得·范·纽温休泽恩在物理学界是一个精力充沛且惹人注目的人物。高大、黝黑、体格健美、穿着讲究，他看起来不像一个超引力的原创者，更像电视上推销防晒油的演员。他是荷兰物理学家，现在是斯托尼布鲁克的教授。他曾是韦尔特曼（Veltman）的学生，也是胡夫特（Hooft）的学生，因而长期对统一问题感兴趣。他是我遇到的一个有真正的无穷无尽的数学能力的为数不多的物理学家之一。研究超引力需要惊人的耐心。我们记得，黎曼在19世纪引进的简单的度规张量只有10个分量。黎曼的度规张量现在已被超引力的超度规张量所取代，超度规张量涉及几百个分量。这并不奇怪，因为具有更高维度的理论、声称要统一所有物质的理论都必须拥有足够的分量来描述它，这极大地增加了方程的数学复杂性。（有时我会想，如果黎曼知道了一个世纪后他的度规张量会发展为比19世纪数学家所能设想的任何东西还要大很多倍的超度规张量时，他会怎么想？）

超引力和超度规张量的出现，意味着研究生必须掌握数学的分量已经在过去10年中迅速膨胀。正如史蒂文·温伯格（Steven Weinberg）指出的，“看！超引力发生了什么？过去10年中一直在这个领域工作的那些人是非常聪明的。他们中的一些人比我在年轻时认识的任何人都聪明。”

彼得不仅是一位出色的计算者，也是创新潮的带头人。因为计算超引力的一个方程就可以轻松布满一张纸，他最终在艺术家大型的和特大型的素描板上计算自己的方程。有一天，我去了他的家，看他具体是如何计算的。他从素描板的左上角开始，用细小的笔迹书写他的方程。然后，逐行地从上到下地将整个素描板写满，写满后翻页又重新书写。这个过程将持续数小时，直到计算完成。他一直专注于他的计算，唯一会被打断的时间是将铅笔插入旁边的电动卷笔刀里。然而，几秒钟后，他又恢复了他的计算且不会丢失任何计算符号。最终，他将这些艺术家的记事本存放在他的书架上，好像它们是一卷卷的科学期刊。彼得的素描板逐渐在校园中变得众人皆知。很快，这成为了一种时尚，所有的物理系研究生开始购买这些笨重的艺术家的素描板。人们可以看见学生们笨拙地夹着这些素描板，他们的眼神中却流露出自豪和骄傲。

一次，彼得、他的朋友保罗·汤森德（Paul Townsend，现在在剑桥大学）和我共同研究一个极其困难的超引力问题。这个计算太难了，以至于耗费了几百页纸。因为我们之中没人敢完全相信自己的计算，我们决定在餐厅见面，一起核对我们的工作。我们面临着一个艰巨的挑战：

几千个项相加且结果必须精确到零。（通常，我们这些理论物理学家能在我们的脑子里“想见”大堆的方程，而并非一定要用纸来推演。然而，由于这个难题的繁杂和微妙，我们必须检查计算中的每一个正负号。）

然后，我们把问题分成若干个大块。我们围坐在餐桌旁，每人都忙碌着计算并检查切分下来的同一个块。一个小时过去了，我们交叉检查计算的结果。通常，我们三个人中有二个人的计算结果是正确的，第三个人就会被要求找出他的错误。然后，我们继续下一块的计算和检查，继续重复上述过程，直到我们都得出了同样的答案。这种重复的交叉检查一直持续到深夜。我们知道，几百页纸中哪怕出现一个错误也会导致我们的计算毫无价值。终于，午夜过去了，我们查完结论性的最后的一项。正如我们所希望的那样，计算结果归零。然后，我们为我们的结果干杯。（繁重的计算使彼得这样精力充沛的人也感到疲倦。离开我的寓所后，他甚至忘记了他妻子的新公寓在曼哈顿的什么地方。他敲了几栋公寓的门，等来的只是愤怒的回答，他选错了大楼。徒劳的搜寻之后，彼得和保罗不情愿地回头向实验室走去。由于彼得忘记更换汽车离合器的电缆，电缆断了，他们不得不推车前行。最后，清晨5点，他们带着破车挣扎着回到了实验室。）



超引力理论的衰退

然而，评论家们逐渐开始发现超引力的问题。在尽力搜索之后，人们在任何一个实验中都没有发现超粒子。例如，自旋为1/2的电子并没有自旋为0的配偶子。事实上，在目前，在我们的低能世界，丝毫没有超粒子存在的实验证据。然而，工作在这个领域的物理学家们坚信，在宇宙创生的巨大能量中，所有的粒子都有它们的超配偶子相陪伴。只有在这个不可思议的能量中，我们才能看到一个完全超对称的世界。

但是，在几年的热烈兴趣和好几十次国际讨论会后，情况开始变得明朗。这种理论不能被正确地量子化，科学家们从而暂时打消了纯粹用大理石构造某种理论的梦想。就像每一次企图完全用大理石构造某种物质理论的尝试一样，超引力的失败有一个很简单的原因：每当我们试着从这些理论进行计算，我们都会得到一个毫无意义的无穷大。超引力理论尽管比原来的鲁扎-克莱因理论具有较少的无穷大，但它仍然不可重整化。

超引力还存在一些别的问题。超引力所能包含的最高对称性为O（8），这种对称性太小了，尚不足以容纳标准模型的对称性。超引力的出现只是在走向一个统一的宇宙理论的漫长旅程的又一步。它治愈了一个问题（把木头变成大理石），但又产生了几个其他的问题。然而，正当人们对超引力的兴趣开始衰退时，一种从未有过的新的理论出世了。他可能是人们曾经提出过的最奇特且最有力的物理学理论——十维超弦理论。

7 超弦

弦理论本是21世纪的物理学，却偶然地落到了20世纪。

——爱德华·威滕（Edward Witten）

新泽西州普林斯顿高等研究院的爱德华·威滕是理论物理学的泰斗。威滕是“这帮人的领袖”，最卓越的高能物理学家。他为物理学界铺平的道路就像毕加索当年为艺术界铺平的道路一样。数以百计的物理学家虔诚地追随着他的工作，以了解他的突破性思想。他在普林斯顿的一个同事塞缪尔·特雷曼曾说，“他的头脑和肩膀超出凡人，他将一群人引上新的征途。他给出了人们渴望的优美而令人惊叹的证据，人们对他充满了敬畏。”特雷曼总结道，“我们谁都无法与爱因斯坦相比，但说到威滕就不一样了……”

威滕出身于一个物理学之家。他的父亲路易斯·威滕（Louis Witten）是辛辛那提大学的物理学教授，也是爱因斯坦广义相对论研究者的绝对权威。（事实上，他的父亲有时说，他对物理学的最大贡献是生了自己的儿子。）威滕的妻子基娅拉·纳皮也是普林斯顿高等研究院的理论物理学家。

威滕与其他物理学家不同。他们中的大多数人在很小的时候就开始爱上物理（比如初中，甚至小学）。威滕蔑视常规，在布兰迪斯大学主修历史专业，且对语言学产生了强烈的兴趣。1971年毕业后，他为乔治·麦戈文（George McGovern）竞选总统效力。麦戈文甚至给他写了一份推荐他上研究生院的推荐信。威滕在《国家》和《新共和国》上发表过文章。（《科学美国人》在采访威滕时说：“是的，这个世界上最聪明的人是个自由民主党人。”）

当威滕决定将物理学作为自己的职业时，他开始玩命地学习物理。他在普林斯顿当了一名研究生，在哈佛大学任教，并在28岁时获得了美国的一所大学的全职教授职位。他还获得了著名的麦克阿瑟学术奖金（也被新闻界称为“天才”奖）。他工作的副产品也深深地影响了数学世界。1990年，他被授予了堪称数学界诺贝尔奖的菲尔兹奖章。

然而，威滕的大部分时间是静静地坐在那里，双目盯着窗外，大脑熟练摆弄和调整着大量的方程组。他的妻子提到，“他习惯在心里盘算，从不在纸面计算。我在弄明白自己的研究项目之前一定会写满整页整页的算式。而爱德华只需要写一个减号或者只是记录一个2这样的数字。”威滕说，“那些没有受过物理训练的人可能会认为，物理学家所做的是令人难以置信的复杂的计算问题。但这并非物理的本质。物理的本质是，它是一种概念，不理解这些概念，就无法了解世界运行的原则。”

威滕的下一个计划，是他的职业生涯中最渴望得到和最冒险的计

划。一个被称为超弦理论的新的理论引起了物理学界的轰动。据称，这是一个能把爱因斯坦的引力理论与量子理论统一起来的理论。然而，威滕并不满足于超弦理论目前被表达的方式。他下决心解决超弦理论的起源这一难题，这也许是迈出了解释“宇宙创生时刻发生了什么”的决定性的一步。这个理论的关键（令其威力巨大且无与匹敌的因素）是它的不寻常的几何特性：弦只可以在十维和二十六维自洽振动。



什么是粒子？

弦理论的本质是，它可以解释物质和空间的性质，即木头和大理石的性质。弦理论回答了一系列关于粒子的令人困惑的问题，如：为什么自然界有这么多粒子？我们探究亚原子粒子的性质越深入，我们就能发现越来越多的粒子。当下，有好几百种粒子组成了亚原子粒子世界的“动物园”。它们的属性可写满厚厚的书卷。即使在标准模型中，“基本粒子”也多得令人困惑不已。弦理论回答了这个问题，因为弦的大小不到质子的10^{19}倍且是振动的，每种振动模式代表一种独特的共振或粒子。弦实在太小了，从远处看，弦和粒子的共振是无法区分的。只有当我们以某种方式放大粒子时，我们才能看到它不是一个点，而是一条以某种模式振动的弦。

在这个描述中，每个亚原子粒子对应于一个独特的共振，它只在一个特定的频率下振动。共振的思想在人们日常生活中是比较易于理解的。设想在浴室中唱歌的例子。虽然我们的声音可能是脆弱的、细小的、不稳定的，但事实上，我们在私密的浴室中突然变成了歌唱明星。这是因为，我们的声波在淋浴室的墙面之间快速地来回反射。在浴室墙内的振动可以很容易地被放大很多倍，从而产生了共鸣声。此种特定的振动被称为共振，而其他振动（声波的波长大小不一致）被消除。

再设想小提琴的琴弦，它可以以不同的频率振动，产生如A、B、C这样的音调。能在弦上唯一存留的只有“在琴弦的端点处消失，并在两端点之间有整数个起伏的那些振动波”（因为琴弦被螺栓固定在两个端点）。原则上，弦可以有无限数量的不同频率的振动。我们知道音调本身并不是最基本的东西，音调A并不比音调B更基本。事实上，最基本的是弦本身。我们没有必要孤立地研究单个音符，我们只需明白小提琴的弦是如何振动的，就能了解无限多个音调的性质。

同样地，宇宙的粒子也并非是最基本的。电子并不比中微子更基本。他们看起来似乎是基本的，这是因为我们的显微镜不够强大，无法揭示其结构的更深部。根据弦理论，如果我们能把点粒子放大，我们就会看到一个小的振动弦。事实上，根据这个理论，物质只不过是由这个振动弦产生的和声。就像小提琴可以组合出无限数量的和声，振动弦也可以构造出无限数量的物质形式。这明确解释了自然界中粒子的丰富性。同样地，物理定律可以比作弦上所允许的和声定律。由无数的振动弦组成的宇宙则可比作一首交响曲。

弦理论不仅能解释粒子的性质，还可以解释时空的性质。当弦在时

空中移动时，它会执行一组复杂的运动。反过来，弦可以分解成更小的弦或与其他弦合并为更长的弦。重点是，所有的这些量子修正或循环图都是有限的和可计算的。这是物理学史上第一个具有有限量子修正的量子引力理论。（我们记得，此前所有已知的理论，爱因斯坦最初的理论、卡鲁扎-克莱因理论、超引力理论，在这个关键性判据上都失败了。）

为了执行这些复杂的运动，弦必须遵循一大组自洽条件。它们的自洽条件非常严格，以至于它们对时空的限制条件也非常严格。换句话说，弦无法像点粒子那样在任意的时空中自洽地旅行。

当首次通过计算得出弦对时空的约束的结论时，物理学家震惊地发现爱因斯坦方程从弦理论中出现了。这是惊人的，没有任何假设，物理学家发现爱因斯坦方程就像变魔术一样从弦理论中产生了出来。爱因斯坦方程不再被认为是基本的，它们能从弦理论中推导出来。

弦理论如果是正确的，它将解决长期存在的关于木头和大理石性质的奥秘。爱因斯坦曾推测，总有一天只需了解大理石的特性就能解释木头的所有特性。对爱因斯坦来说，木头只是时空的一个扭结或振动。然而，量子物理学家与他的看法相反。他们认为大理石可以变成木头，也就是说爱因斯坦度规张量可以转化为承载引力离散能量包的引力子。这是两种截然相反的观点，人们一直认为不可能在他们两者之间找到妥协。然而，弦理论恰恰是木头和大理石之间的“缺失环节”。

弦理论既能导出可看作为在弦上共振的物质粒子，又能通过要求弦在时空中自洽运动导出爱因斯坦方程。这样，我们就有了物质-能量和空间-时间的综合理论。

这些自洽条件出奇的严格。例如，它们禁止弦在三维或四维中运动。我们将看到，这些自洽条件迫使弦在特定数量的维度中移动。事实上，弦理论只允许弦在十维和二十六维运动。幸运的是，定义在这些维中的弦理论有足够的“空间”统一所有的基本力。

因此，弦理论足以解释自然界的所有基本定律。从一个简单的弦振动理论，可以提取爱因斯坦的理论、卡鲁扎-克莱因理论、超引力、标准模型，甚至大统一理论。这似乎是一个奇迹，从一些弦的纯几何讨论出发，人们能够重新导出过去2000年中物理学的所有进展。本书到现在为止讨论的所有理论，都被自然地囊括在弦理论中。

目前激起的对弦理论的兴趣主要来源于加州理工大学的约翰·施瓦兹（John Schwarz）以及他在伦敦女王玛丽学院的合作者米迦勒·格林（Michael Green）的工作。在此之前，人们普遍认为弦理论是存在缺陷的，不能成为一个完全自洽的理论。1984年，这两个物理学家证明了弦理论可以满足所有的自洽条件。这反过来又点燃了当下年轻的物理学家求解这个理论的热情，并赢得了潜在的认可。到20世纪80年代末，一场

名副其实的“淘金热”在物理学家中开始出现。［数以百计的世界上最聪明的理论物理学家们为求解该理论展开的竞争已变得相当激烈。事实上，《发现》杂志的封面还刊登了得克萨斯的弦理论家D．V．纳诺珀罗斯（D．V．Nanopoulous）的照片，他公开宣称他在寻求获得诺贝尔物理学奖这条崎岖小径。通常，这样抽象的理论很少能引起人们如此的热情。］



为什么是弦？

我曾在纽约一家中国餐馆与一位诺贝尔物理学奖获得者共进午餐。当我们吃过甜食和糖醋肉后，又谈到超弦理论的主题上来。他突然开始了一个漫长的讨论，他向我解释为什么超弦理论不应成为年轻的理论物理学家选择的路径。他声称这是一场疯狂的追逐。物理学史上从未有过类似的东西，他认为这实在太离奇了。它太陌生，与以前所有的科学趋势太不相同。经过长时间的讨论，他提出了一个终极问题：为什么是弦？为什么不是振动的固体或斑点？

他提醒我，物理世界一次又一次地使用相同的概念。大自然就像巴赫或贝多芬的作品，通常以一个中心主题开始，然后进行无数的变化，在交响乐中变成无数的变奏曲。以此判断，弦似乎并非自然界的基本概念。

例如，轨道的概念以各种不同变奏反复出现在自然界。自哥白尼的工作以来，轨道提供了一个基本的主题，它通常以各种不同变奏在整个自然界中重复出现。从最大的星系到原子，再到最小的亚原子粒子。同样，法拉第场也被证明是大自然最喜欢的主题之一。场可以描述银河的磁性和引力，它还可以描述麦克斯韦的电磁理论、黎曼和爱因斯坦的度规理论、标准模型中发现的杨-米尔斯场。事实上，场论已成为亚原子物理学的通用语言，也许宇宙也是如此。它是理论物理学中最有力的武器。所有已知形式的物质和能量都能用场论来表述。与交响乐中的主题曲和变奏一样，物理学中的模式不断被重复。

自然的基本为什么是弦？在设计天空时，弦似乎并非大自然偏爱的图案。我们在外太空中也并不能看见弦。事实上，我的同事向我解释，我们在任何地方都不能看到弦。

然而，我们只要多思考下就会明白，自然界保留了弦是因为它具有一个特殊作用——作为其他形式的基本构建。例如，地球上生命的本质特征是像弦一样的DNA分子，DNA分子包含了复杂的信息和生命本身的编码。当我们解释是什么构建了生命的物质以及亚原子物质时，弦似乎成为了完美的答案。在这两种情形下，我们希望将大量的信息打包成一个相对简单的可复制的结构。弦最显著的特点是，它是一种紧凑的且可复制的存储大量数据的方式。

对生物体而言，大自然使用双链DNA分子，它解开双链，构成各自的复制物。此外，我们的身体还包含有数亿个蛋白质分子（蛋白质

弦），它们是组成氨基酸的构件。在某种意义上，我们的身体可以被看作大量的弦，即覆盖在我们骨骼上的蛋白质分子的集合体。



弦乐四重奏

目前，弦理论最成功的版本是由普林斯顿的物理学家戴维·格罗斯（David Gross）、埃米尔·马丁尼克（Emil Martinec）、杰夫瑞·哈维（Jeffrey Harvey）、瑞安·罗姆（Ryan Rohm）共同建立的。有时，他们也被称为普林斯顿弦乐四重奏。他们中最年长的是戴维·格罗斯。在普林斯顿大多数的研讨会上，威滕的声音总是柔和而低调，格罗斯的声音则是大声的、洪亮的、强硬的。任何在普林斯顿做学术报告的人都会害怕于格罗斯提出的尖锐的、开火一样的问题。值得注意的是，他的问题通常直指要害。格罗斯和他的合作者提出了所谓的杂化弦（heterotic）概念。今天，正是这种杂化弦，最具潜力将所有自然定律统一起来。

格罗斯认为，弦理论解决了把木头变成大理石的问题："从几何建立物质本身——在某种意义上，那是弦理论必须解决的问题。可以这样认为，特别是像杂化弦这样的理论，它原本就是一个引力理论。在这个理论中，物质的粒子和其他自然力出现的方式与引力从几何中出现的方式相同。"

正如我们所强调的，弦理论最显著的特点是爱因斯坦的引力理论自动包含在其中。事实上，引力子（量子引力）是作为闭合弦的最小振动出现的。大统一理论竭力避免提到爱因斯坦的引力理论，而超弦理论却要求将爱因斯坦的理论包括进来。例如，如果我们简单地将"爱因斯坦的引力理论是弦的一个振动"丢弃，那么这个理论就成为不自洽的和无用的了。事实上，这就是威滕从一开始就被弦理论所吸引的原因。1982年，他读了一篇约翰·施瓦兹（John Schwarz）的评论文章，他惊讶地意识到单从自洽要求出发，引力就能从超弦理论中出现。他回忆说，"这一发现是我一生中最令我震惊、兴奋的事情。"威滕说，"弦理论十分吸引人，因为引力是强加给我们的。所有已知的弦理论都包含引力。虽然引力在我们所知的量子场论中不可统一，但它在弦理论中成为了必然。"[20]

格罗斯确信，如果爱因斯坦还活着，他一定会爱上超弦理论。爱因斯坦爱超弦理论的原因很简单，因为它是简洁、优美，且来源于几何原理，尽管其确切性质仍然是未知的。格罗斯说，"爱因斯坦将对此感到满意，即便对现实不那么满意，至少对目标会非常满意……他会喜欢'有一个基本的几何原理'这一事实——不幸的是，这个基本的几何原理我们并不真正了解。"

威滕甚至进一步说："'物理学中的所有真正伟大的思想'都是超弦理论的'分拆'"。这意味着，理论物理学的所有的巨大进步都包含在超弦理

论中了。他甚至声称，在超弦理论出现之前，爱因斯坦发现的广义相对论也许是“地球上出现的一个偶然事件”。他认为，在外太空的某个地方，“宇宙中的其他文明”或许已经发现了超弦理论，广义相对论仅是超弦理论导出的副产品。



紧凑与美丽

弦理论是物理学中一个很有希望的理论，因为它给出了粒子物理学和广义相对论中的对称性的简单起源。

我曾在第6章中指出，超引力是非重整化的，它非常之小，不能容纳标准模型的对称性。因此，它不是自洽的，也不能逼真地描述已知的粒子。然而，弦理论则都可以做到。我们很快就会看到，弦理论消除了见于量子引力中的无穷大，产生了有限的量子引力理论。仅此一条，弦理论就应该成为宇宙理论的重要候选理论。然而，弦理论还有一个附带的好处：我们使弦的某些维度紧缩化时，会发现它有“足够的余地”来容纳标准模型甚至大统一理论的对称性。

杂化弦由一个顺时针振动和一个逆时针振动的闭合弦组成，需要区别对待。顺时针振动存在于十维空间，逆时针振动存在于二十六维空间，其中的16个维已紧缩化了。（我们记得，在卡鲁扎原有的五维理论中，第五维度紧缩为一个卷起来的圆。）杂化弦的得名源于以下事实：顺时针振动和逆时针振动分别存在于两个不同的维度，它们的组合产生了一个单一的超弦理论。杂化弦的命名来源于希腊语“heterosis”，意为“杂种”。

16维紧缩空间是非常有趣的。我们记得在卡鲁扎-克莱因理论中，紧缩的*N*维空间存在一个对称性与其相关联，就像我们前面讨论过的沙滩球。于是，定义在*N*维空间上的所有振动（或场）便自动将这些对称性继承了下来。如果*N*维空间的对称性是SU（N），那么这个*N*维空间上的所有振动都必须服从对称性SU（N）（就像黏土继承了模具的对称性）。用这样的方法，卡鲁扎-克莱茵理论就可以容纳标准模型的对称性了。此外，这样的方法还可以确定超引力“太小”，它不能容纳在标准模型中发现的具有各种对称性的所有粒子。这足以否定超引力理论是一种现实的物质和时空的理论。

普林斯顿的4位物理学家分析了紧缩的16维空间的对称性，他们发现了一个巨大的对称性，他们将其称为E（8）×E（8）。这种对称性甚至比大统一理论中的曾经尝试过的任何对称性都要大。[21]这是一个意想不到的惊喜。这意味着弦的所有振动继承了16维空间的对称性，比容纳标准模型的对称性要大得多。

这正是本书主题——物理学定律在高维中简化——的数学表达。在这种情况下，杂化弦的逆时针振动的二十六维有足够的空间来解释在爱

因斯坦的理论和量子理论中发现的所有的对称性。因此，纯几何首次给出了一个简单的解释，这就是为什么亚原子世界必定展现出蜷缩的高维空间中出现的对称性：亚原子领域的对称性只是更高维空间对称性的残余。

这意味着自然之美和对称性最终可以追溯到高维空间。例如，雪花创造了美丽的六角形图案，但它们没有一个是完全一样的。这些雪花和晶体由分子构成，这些分子继承了几何学排列的结构。分子的几何排列主要由分子的电子壳层决定，这又使我们回到了由O（3）给出的量子理论的旋转对称性。我们在化学元素中观察到的低能宇宙的所有对称性，都归因于被标准模型所划分的对称性，标准模型又能通过紧缩化杂化弦导出。

总之，我们周围看到的对称性，从彩虹到盛开的花朵再到各种晶体，最终都能被看作原始十维理论的片段表现。[22]黎曼和爱因斯坦都曾希望找到“力能决定物质的运动和性质的几何理解”。但是，他们丢掉了证明木头和大理石关系的关键要素。这个缺失的环节，极可能是超弦理论。有了十维弦理论，我们看到，弦的几何形状也许既决定了物质的力也决定了物质的结构。



21世纪的物理学

既然超弦理论对称性的威力巨大，它与别的物理学理论截然不同就不足为奇了。事实上，这完全是一个偶然发现。许多物理学家评论，如果这个偶然发现没有发生，那么，它将在21世纪才被人们发现。之所以它被超前发现，是因为这个理论明显偏离了本世纪尝试的所有思想。它并非本世纪流行的趋势和理论的持续延伸，因为它与众不同。

广义相对论具有“正常的”和逻辑的演化。首先，爱因斯坦假设了等效原理。接着，他基于法拉第场和黎曼度规张量，以引力场论的数学形式重建了这个物理原理。之后，出现了“经典解”，如黑洞和大爆炸。最后阶段是，试图建立一个量子引力理论。因此广义相对论经历了一个逻辑过程，从物理原理到量子理论：

几何→场论→经典理论→量子理论

与此相反，超弦理论自1968年被偶然发现以来，却逆着上述方向演化。这就是超弦理论在大多数物理学家眼中看来是如此奇异且陌生的原因。我们仍在寻找其潜在的物理原理，即爱因斯坦等效原理的对应物。

超弦理论非常偶然地诞生于1968年。两个年轻的理论物理学家，加布里埃尔·韦内齐亚诺（Gabriel Veneziano）和铃木真彦（Mahiko Suzuki），独立地翻阅数学书籍，寻找描述强相互作用粒子相互作用的数学函数。他们在瑞士日内瓦欧洲核子研究中心工作时，偶然地发现了欧拉β函数。这是18世纪数学家莱昂哈德·欧拉写下的数学函数。他们惊讶地发现，欧拉β函数几乎满足描述基本粒子强相互作用所要求的所有属性。

在加利福尼亚劳伦斯伯克利实验室的午餐期间，看着太阳闪耀着光芒从旧金山港湾落下的壮观情景，铃木真彦曾向我解释自己偶然地发现某种很重要的结果时的激动心情。物理学的发展通常不应以这样的方式进行。

铃木真彦在一本数学书中找到了欧拉β函数并激动地将结果告诉了欧洲核子研究中心的资深物理学家。这位资深物理学家并未对他的话引起重视。相反，他告诉铃木真彦，另一个年轻的物理学家韦内齐亚诺几周前给他发了同样的函数，他劝阻铃木不要将这份研究结果作任何发表。今天，这个β函数被命名为韦内齐亚诺模型，它激发了数千篇研究论文的诞生，催生了物理学中的一个大分支。它现在宣称将要统一所有

的物理定律。（回顾起来，铃木应该发表他的研究结果。这是一个教训：永远不要把你上司的话太当回事儿。）

1970年，芝加哥大学的南部阳一郎（Yoichiro Nambu）和日本大学的铁雄宫彤（Tetsuo Goto）发现韦内齐亚诺-铃木模型的奇妙性质的背后是振动的弦，弦部分地解释了这个模型的秘密。

由于弦理论是偶然发现的，当时的物理学家们仍不清楚弦理论的物理原理。该理论进化的最后一步（和广义相对论的第一步）依然缺失。

威滕补充说：

> 地球上的人类从未有过这样的概念框架引领他们有目的地发明弦理论……没有人特意去发明它，它是妙手偶得。按理说，20世纪的物理学家不应该有研究这一理论的特权。准确地说，在我们还未掌握弦理论的先决条件时，弦理论不应该被发明。



环

韦内齐亚诺和铃木发现的公式，尽管有希望能描述相互作用的亚原子粒子的性质，但仍然是不完整的。它违背了物理学的一个性质——幺正性（或称几率守恒）。就其本身而言，韦内齐亚诺-铃木公式给出的粒子间相互作用的答案也是不正确的。因此，该理论发展的下一步是添加小的量子修正项用以恢复这个性质。1969年，在南部阳一郎和铁雄宫彤解释弦理论之前，威斯康星大学的三个物理学家“切河吉川（Keiji Kikkawa）、崎田文二（Bunji Sakita）和米格尔·维拉索罗（Miguel A . Virasoro）”就提出了正确的解决方案——在韦内齐亚诺-铃木公式中增加一些渐次变小的项，以恢复幺正性。

这些物理学家不得不从头猜测如何构建这些系列，其中，南部阳一郎的弦理论框架最容易被理解。例如，一只大黄蜂飞在空中时，它的飞行路径可以被描述为一个波形线。当飘浮在空中的一条弦在空间运动时，它的运动路径可被比作一个假想的二维面。当一条封闭的弦在空间运动时，它的运动路径类似于一个管道。

弦通过“分解为更小的弦”和“与其他弦合并”而相互作用。当这些相互作用的弦移动时，它们会勾画出如图7.1所示的图形。注意，两个管道从左边进来，其中一个管道在中间裂变，互换中部的管道，接着向右边转向——这就是管道之间相互作用的方式。这个图是一个非常复杂的数学表达式的缩写。当我们计算这些图对应的数值表达式时，就会回到欧拉β函数。

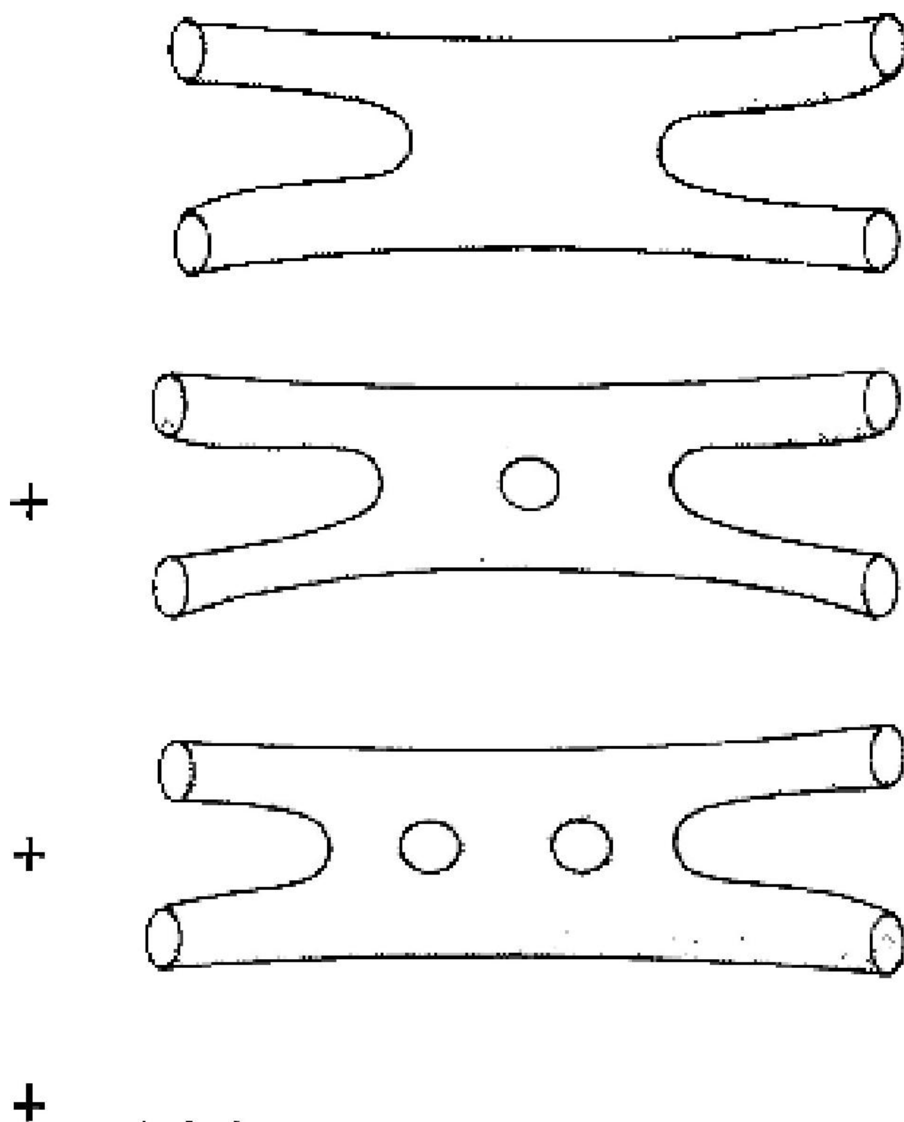


图7.1　在弦理论中，引力由时空中的闭弦交换来表示，闭弦在时空中运动会扫出一根类似管道的路径。即使我们增加无限多有大量孔的图，弦理论中也不会出现无穷大。它给我们提供了一个有限的量子引力理论。

在弦的绘景中，由吉川、文二、维拉索罗提出的基本技巧相当于添加所有可能的图，在这些图中，弦能互相碰撞并分裂。当然，事实上存在无数个这样的图。添加无限数量的“循环”图的过程，就是摄动理论（微扰论）。摄动理论是所有量子物理学家武器库中最重要的武器之一。（这些弦图拥有以前的物理学家从未见过的优美的对称性，它在二维中被称为共形对称性。这种共形对称性允许我们像对待橡皮作出的东西那样对待这些管道和面：我们可以拉伸、弯曲、收缩这些图。于是，由于共形对称性，我们能证明所有这些数学表达式保持相同。）

我对吉川、文二、维拉索罗提出的方案非常感兴趣，我决定尝试解决这个难题。这十分困难，我仿佛正在战场中躲避机枪子弹。



新兵训练营

我清楚地记得吉川、文二、维拉索罗的论文是在1969年发表的。吉川、文二、维拉索罗提出了一个未来工作的计划，而并未给出精确的细节。于是，我决定明确地计算所有可能的循环并完成吉川、文二、维拉索罗提出的计划。

那段时光令人难忘。越南战争正在激烈地进行着，从肯特州立大学到巴黎大学的校园都处于动荡之中。我上一年刚从哈佛大学毕业。那年，林顿·约翰逊（Lyndon Johnson）总统撤销了“研究生缓服兵役”的政策。“恐慌”在全国各地的研究生院蔓延，“混乱”笼罩着校园。突然间，我的朋友们纷纷从大学退学。他们有的选择去中学当教师；有的选择收拾行囊准备投奔加拿大，有的选择为逃避军训而自毁健康。

前景美好的学业就此被打碎。我的一位来自麻省理工学院物理系的好友就曾许下誓言——他宁愿坐牢也不去越南参战。他让我们将《物理评论》的复印本送到他的牢房，以便他能赶上韦内齐亚诺模型的研究进展。那些为了避免参军而选择退学去中学教书的朋友，遗憾地离开了开拓学术的大道。（他们中的许多人现在仍在中学教书。）

我毕业后的三天，离开了坎布里奇，加入了驻扎在格鲁吉亚本宁堡的美国陆军（世界上最大的步兵训练中心）。后来，我们前往华盛顿的刘易斯堡驻扎。在这里，成千上万的未受过军事训练的新兵被编入战斗部队。他们准备着被运往越南，替代每周会阵亡的500个美国士兵。

一天，我在炎热的佐治亚太阳下接受投掷手榴弹的训练。我看着致命的手榴弹弹片向四周散开，思绪开始漫游。历史上有多少科学家必须面对战争的惩罚和蹂躏？有多少优秀的科学家在他们的青春年华中被子弹打中？

我记得，在第一次世界大战中，卡尔·史瓦西（Karl Schwarzschild）在皇家军队当兵时死于俄罗斯前线。他发现“爱因斯坦方程用于计算黑洞的基本解”仅仅几个月就阵亡了。（黑洞的史瓦西半径就是为了纪念他而命名的。他在前线阵亡后，爱因斯坦于1916年致函普鲁士科学院，以纪念史瓦西的工作。）我不知道世界上还有多少前途光明的学者，在他们的职业生涯尚未起步之时就夭折了。

我发现，步兵训练是非常严酷的。训练的目的是强化精神并弱化智力，独立思考被一扫而光。毕竟，军队不需要在交火中质疑中士命令的

智者。明白了这点后，我决定随身带一些物理学论文。我需要一些东西让我在帮伙夫削土豆或操纵机枪时保持头脑活跃，所以我带了一份吉川、文二、维拉索罗论文的副本。

在夜间步兵训练时，我必须通过设障路段。这意味着我需要逃避机枪的子弹、蛙式伏在铁丝网下爬行、匍匐通过深褐色的泥浆地。因为机枪上配有曳光弹，所以我能看见数千的机枪子弹产生的美丽的深红条纹在头上几英尺的地方划过。然而，我的思绪却一直停留在吉川、文二、维拉索罗的论文以及如何求解的问题上。

幸运的是，这个计算的本质是纯粹的拓扑学。我清楚地看到，这些循环将一个全新的语言带到物理学中，即拓扑学语言。在物理学的历史上，莫比乌斯带或克莱因瓶从未以某种基本方式被使用过。

因为在接受机枪训练时几乎没有纸和笔，所以我强迫自己在头脑中想象弦如何扭曲成环，并里外翻转。机枪训练对我来说也许是因祸得福，因为它迫使我在头脑中操纵方程式。当我完成了机枪训练的计划后，我确信自己也同时完成了所有环的计算。

最后，我设法挤出时间从军队去了加州大学伯克利分校。在这里，我拼命地研究并计算我头脑中思考的那些细节。有几百个小时我都沉浸在对该问题的紧张思考之中。事实上，这也达成了我的博士论文。

到1970年，最终的计算密密麻麻地写满了笔记本上好几百页纸张。在我的导师斯坦利·曼德斯坦（Stanley Mandelstam）的严密监督下，我和同事余蕙萍（Loh-ping Yu）成功地计算了在那个时候知道的所有可能的环路图。然而，我对这项工作并不满意。吉川、文二、维拉索罗方案是由一些经验法则和直觉组成的，并非能够推导这些环的严格的基本原理。我们看到，弦理论自维内齐诺和铃木偶然发现后是反向演化的。弦理论反向演化的下一步是追寻法拉第、黎曼、麦克斯韦和爱因斯坦的脚步，构建一个弦的场论。



弦的场论

自法拉第的开创性工作以来，每一个物理理论都是用场来书写的。麦克斯韦的光理论便是基于场论而来，爱因斯坦也是如此。事实上，所有的粒子物理学都是基于场论建立的。唯一不基于场论的理论是弦理论。吉川、文二、维拉索罗方案是一组方便的规则，而不是场论。

我的下一个目标是纠正这种情况。然而，弦的场论必须面临一个严峻的问题——许多物理学先驱人物都对它持反对意见。他们的理由很简单，如物理学巨人汤川秀树（Hideki Yukawa）和沃纳·海森堡（Werner Heisenberg）多年来所建构的理论并非基于点粒子的理论。他们认为，基本粒子可能是物质的脉动斑点，而不是点。然而，无论他们多么努力，基于斑点的场论总是违反因果关系。

如果我们在一个点上晃动这个斑点，那么相互作用传播的速度会比光速还快地通过斑点传播。这违反了狭义相对论，产生了各种时间悖论。因此基于斑点的"非定域场论"是极困难的问题。事实上，许多物理学家坚持认为只有基于点粒子的定域场论才是一致的。非定域场论一定是违反相对论的。

第二个理由更令人信服。韦内齐亚诺模型有许多以前在场论中从未见过的神奇特性（包括所谓的二元性）。几年前，理查德·费曼（Richard Feynman）给出了任何场论都应遵守的"规则"。然而，这些费曼规则是违反二元性的。因此，许多弦理论家相信弦的场论是不存在的，因为弦理论必然违背韦内齐亚诺模型的性质。他们说，弦理论在物理学中是独特的，因为它不能被重塑为场论。

我与吉川合作研究这个困难且重要的问题。我们一步一步地建立我们的场论，就像我们的前辈为其他力构造场论一样。继法拉第之后，我们为时空的每一个点引进一个场。然而，对于弦的场论，我们必须推广法拉第的概念：假定一个场，这个场定义了一条在时空中振动的弦的所有可能的组态。

接下来是假设弦服从的场方程。单独在时空中运动的单弦的场方程，不难得到。正如预期的那样，我们的场方程再现了无限系列的弦共振，其中每一个共振都对应于一个亚原子粒子。接下来，我们发现汤川和海森堡持有的反对意见被弦的场论解决了。如果我们轻轻地晃动弦，那么振动将顺着弦以小于光速的速度传播。

不久，我们就碰壁了。当我们试图引入相互作用的弦时，我们不能正确地再现韦内齐亚诺振幅。二元性与费曼给出的任何场论的图解均不相容。正如批评家所预期的那样，费曼图是错误的。这真令人沮丧——19世纪构成物理学基础的场论，似乎与弦理论不相容。

我很是气馁，我记得当时自己考虑这个问题直到深夜。我用了几个小时的时间系统地检查了所有可能的替代品。但是，二元性必须被打破的结论似乎不可避免。然后，我想起了在亚瑟·柯南·道尔的《暗号4》中夏洛克·福尔摩斯对华生说的话：“我对你说过无数次，当你排除了所有的不可能时，剩下的那个即便再不可思议也一定是真相。”我受这一思想的鼓舞，排除了所有不可能的替代品，唯一留下的不大可能的方法则违反了韦内齐亚诺-铃木公式的性质。凌晨3点，我终于得出了解决方案。我认识到物理学家忽略了一个明显的事实，韦内齐亚诺-铃木公式可以分为两个部分。于是，每个部分对应一张费曼图，每个部分都违反二元性，但它们的总和却服从场论的所有正确性质。

我迅速拿出一些纸，仔细查看了计算结果。我花了5个小时，从所有可能的方向检查和复核这些计算。如所有人预料的那样，得出了不可避免的结论——场论违背二元性。但这是可以接受的，因为最终的和再现了韦内齐亚诺-铃木公式。

我现在已解决了这个问题的大部分，目前还缺一个代表4条弦碰撞的费曼图。那一年，我正在纽约城市大学给大学生讲授电学和磁学。当时，我们正在研究法拉第的力线。我要求学生画出从不同电荷发出的力线，重复法拉第在19世纪所做的同样的步骤。我突然恍然大悟，我要求学生画的弯曲的线与弦碰撞有着完全相同的拓扑结构。于是，通过在大学一年级的实验室重组电荷，我发现了描述4条弦碰撞的正确分布。

它真是这么简单吗？

我冲回家中核实自己的预感，我是正确的。采用大学新生也能使用的绘图技巧可以证明，4条弦的相互作用必须隐藏在韦内齐亚诺公式中。1974年的冬天，运用回溯到法拉第的方法，吉川和我完成了弦的场论的建立。我们首次成功地将弦理论与场论结合在一起。

我们的场论虽然正确地体现了弦理论中包含的全部信息，但仍需要改进。因为我们是反向构建的场论，所以许多对称性仍然是模糊的。例如，狭义相对论的对称性是存在的，但并未以明显的方式出现。我们需要更多的工作来简化我们发现的场方程。但是，正当我们开始探索场论的性质时，这个模型出乎意料地遭到了严重的挫折。

那年，罗格斯大学物理学家克劳德·洛夫莱斯发现玻色弦（描述整数自旋）只在二十六维中是自洽的。其他物理学家验证了这个结果，并且证明超弦（描述整数和半整数自旋）只在十维中是自洽的。人们很快意识到，在十维或二十六维以外的维度中，这个理论完全丧失了它所具有

的优美的数学性质。没人相信，在十维或二十六维中定义的理论会与现实有关。

弦理论研究突然停顿。像此前的卡鲁扎-克莱因理论一样，弦理论陷入深度冬眠。10年来，这个模型被放逐到荒无人迹的地方。［虽然大多数弦物理学家（包括我自己）像抛弃一艘沉船一样抛弃了这个模型，但依然有少数顽固分子，如物理学家约翰·施瓦兹（John Schwarz）和已故的乔尔·舍尔克（Joel Scherk）坚持着试图通过不断改进使这个模型存活。例如，弦理论最初被认为是一种强相互作用理论，每种振动模式都对应于夸克模型的共振。施瓦茨和舍尔克正确地证明，弦模型确实是一个所有力的统一理论，而并非只是强相互作用理论。］

量子引力的研究走向了另一个方向。1974—1984年，当弦论黯淡无光时，相继出现了大量量子引力的替代理论。在这期间，原有的卡鲁扎-克莱因理论和随后的超引力理论很受欢迎，但这些模型都未取得成功。例如，卡鲁扎-克莱因理论和超引力理论都被证明为非重整化。

在那10年里，发生了一些奇怪的事情。一方面，物理学家们在这段时间内尝试了越来越多的模型但都以失败告终，物理学家们备感沮丧。人们慢慢地认识到，卡鲁扎-克莱因理论和超引力理论或许才是正道，但他们又无法解决非重整化的问题。唯一包含卡鲁扎-克莱因理论和超引力理论的是超弦理论。另一方面，物理学家们慢慢变得习惯于与超空间打交道。因为卡鲁扎-克莱因理论的复兴，多维空间的观点不再是牵强的或被禁止的了。随着时间的推移，即便定义26个维度中的理论也不会像以前那样显得突兀。人们最初的对多维空间的抵触开始慢慢消失。

最后，在1984年，格林和施瓦兹证明了超弦理论是量子引力的唯一的自洽理论，并由此引发了争先恐后的研究。1985年，爱德华·威滕在弦理论领域取得一个显著的进步，很多人认为是一个最美丽的理论成果。他指出，我们的旧场论可以用强大的具有完全相对论形式的数学和几何定理（来自所谓的上同调理论）来推导。

有了威滕的新场论，一个数学上真正优雅的隐藏在形式主义中的弦理论出现了。很快，科学界发表了近一百篇科学论文探讨威滕场论的迷人的数学性质。[23]



没有人是完全聪明的

假设弦场论是正确的，原则上，我们能从第一原理计算质子的质量，并能处理已知的数据——例如，各种粒子的质量等。如果数值解是错误的，我们就必须将该理论抛出窗外。然而，如果这个理论是正确的，它将是2000年以来，物理学中最重要的进步之一。

弦场论经过20世纪80年代末的连篇累牍、兴高采烈的鼓吹（当时给人的感觉，似乎该理论将在几年内被彻底解决，将有一群人获得诺贝尔奖），出现了一定程度的低潮。虽然这个理论在数学上是明确定义的，但没人能对这个理论求解——一个人也没有。

问题在于，“还没有一个足够聪明的人来求解弦场论”或“还没有一个任何非摄动的方法可以处理弦理论”。这是一个很明显的难题，具有讽刺意味的是，求解场论所要求的技术超出了当前任何物理学家的能力。这是令人沮丧的。摆在我们面前的是一个完美定义的弦理论。它或许可以解决围绕高维空间的所有理论。从第一原理出发进行推导计算，在面子上会让我们非常风光。但现在的问题是我们不知道如何求解。在莎士比亚的戏剧中有一句尤利乌斯·凯撒（Julius　Caesar）的名言：“亲爱的布鲁图斯，错误不在于我们的命运，而在于我们自己。”对于弦论理论家来说，错误不在于理论，而在于我们原始的数学。

促成这种悲观的原因是，我们的主要计算工具摄动理论失败了。摄动理论始创于韦内齐亚诺公式，然后科学家用它来计算量子修正（有环的形状）。弦论学家的希望是，他们能写下一个更高级的在四维中定义的韦内齐亚诺那样的公式，且能唯一地描述那些已知的粒子谱。回想起来，他们是成功过头了。因为，上百万韦内齐亚诺类似的公式被人们发现。令人尴尬的是，弦理论家全都淹没在这些巨量的扰动解中。

过去几年阻碍超弦理论停滞不前的根本问题在于——没人知道如何从已发现的数以百万计的解中筛选出正确的解。这些解中的一些已经非常接近于描述真实世界。通过一些简单的假设，可以很容易地将标准模型提取为弦的一个振动。事实上，有几个物理学研究组声称，他们发现了与亚原子粒子有关的已知数据相符合的解。

我们看到的问题是，有数以百万计的描述宇宙的解，而这些解中的大部分都非真。在某些解中，宇宙没有夸克或夸克太多。在大多数的解中，我们所认知的生命都无法存在。我们的宇宙可能会迷失在弦论中发现的数百万个可能的宇宙中。要找到正确的解，我们必须用非微扰方

法，这是非常困难的。因为我们所知道的高能物理学知识中99%是以微扰理论为基础的，这意味着我们几乎找不到一个对该理论的正解。

然而，还是存在一些乐观的空间。在很多简单理论中发现的非微扰解表明，许多解确实是不稳定的。一段时间后，这些不正确的、不稳定的解将进行量子跃迁，到达正确的、稳定的解。如果对于弦理论是这样的话，那么也许已经发现的数百万个解实际上是不稳定的，并且随着时间的推移会逐渐衰减到正确的解。

为了理解物理学家们心中的沮丧，想一想，19世纪的物理学家得到一台便携式计算机，他们会作何反应。他们可以很容易地学会开机和敲击键盘。他们可以很快地学会如何玩电脑游戏，也可以在显示器上观看教育节目。由于他们在技术上严重落后，他们会惊叹于计算机的奇妙计算能力。计算机的存储器可以很轻松地储存这些科学家所生活的那个时代的科学知识。在很短的时间内，他们就能学会并完成一些他们的同行大为惊叹的数学技巧。然而，当他们决定打开显示器研究其内部设备时，他们会大跌眼镜。显示器内的晶体管和微处理器完全超出了他们的理解范围。他们所掌握的科技知识与电子计算机相比不值一提。因为这已远超出了他们的理解能力。他们只能沮丧地盯着复杂的电路，弄不清它们的工作原理，更不知道这一切意味着什么。

他们感到沮丧的根源是，计算机在他们的面前，但他们却没有可参考的框架对计算机进行解释。类似地，弦理论似乎是21世纪的物理，但它偶然地在20世纪被人们发现了。弦理论似乎包括了所有的物理知识。我们不需花费太大力气，就能用这理论“开机”、“敲键”，捣腾出超引力理论、卡鲁扎-克莱因理论、标准模型。但我们对它（弦理论）的工作原理却没有丝毫理解。弦的场论真实存在，但它的存在仿佛是对我们的嘲讽。因为我们没有足够的智慧去理解它。

我们面临的主要问题是：21世纪的物理偶然落入20世纪，21世纪的数学却并未一同落入20世纪。于是乎，我们有了两条选择。其一，等到21世纪来临再开展我们的科学进展；其二，当前一代的物理学家必须靠他们自己发明21世纪的数学。



为什么是十维？

围绕弦理论的一个深奥的秘密至今仍未破解——为什么它只在十维和二十六维中定义。如果弦理论是三维的，它就不能以任何合理的方式统一已知的物理定律。因此，高维几何才是弦理论的核心特点。

如果我们计算弦在N维空间中如何分裂和重组，我们会不断发现一些毫无意义的破坏这个理论奇妙特性的项。幸运的是，这些不需要的项都有（N-10）的乘子。因此，为了消除这些异常，我们只能将N设为10。事实上，弦理论是唯一已知的量子理论，它要求时空的维数必须固定在一个唯一的数字上。

不幸的是，弦理论家目前还无法解释为什么偏偏是第十维度被挑选出来。这个问题的答案深藏在数学中——“模函数”领域。每当我们操纵由相互作用的弦产生的KSV循环图时，我们就会遇到这些奇怪的模函数。在这些模函数中，数字10会出现在最奇怪的地方。这些模函数与一个研究它的东方人一样神秘。如果我们透彻认识了这个印度天才的工作，我们或许就能理解为什么我们生活在我们现在的宇宙之中。



模函数的奥秘

斯里尼瓦瑟·拉马努金是数学史上，亦可能是整个科学史上最奇怪的人。他被学术界比作一个爆裂的超新星，照亮了数学中最黑暗、最深奥的角落。不幸的是，他33岁时死于肺结核，像黎曼一样英年早逝。他的工作完全独立于当时的主流研究领域之外，他可以独自重新推导100年来西方数学的所有经典。对他而言，他的悲剧在于将自己大部分的工作都浪费在了已知数学的再发现上。散布在他的笔记本里的那些字迹模糊的方程式，就是模函数。模函数是数学史上被发现的最奇怪的函数。它们出现在最遥远、最不相关的数学分支中。在模函数的理论中，有一个函数的出现频率非常高，今天我们将它称为拉马努金函数（以示对他的纪念）。这个奇异的函数包含一个高达24次幂的项。

在拉马努金的工作中，24这个数字反复出现。它被数学家称为魔数，它经常出现在我们意想不到的地方且没人可以理解。令人惊奇的是，拉马努金函数也奇迹般地出现在了弦理论中。在拉马努金函数中出现的数字24，也与弦理论发生了神奇的相约。在弦理论中，拉马努金函数中的24种模式分别对应于弦的物理振动。每当弦通过分裂和重组在时空中执行复杂的运动时，必须满足大量复杂的数学恒等式。这些恒等式，恰好是拉马努金发现的数学恒等式。（因为物理学家在计算相对论理论中振动出现的总数时又添加了2个维度，这意味着时空必须有24＋2＝26个时空维度。[24]）

当拉马努金函数被推广时，数字24被数字8代替。因此超弦的临界数是8＋2，即10。这就是第十维度的起源。弦在第十维度中振动，是因为它需要这些广义的拉马努金函数能够保持自洽。反过来说，物理学家对第十维度和第二十六维度被选定为弦的维度并无丝毫理解。仿佛有某种深刻的命理学体现在这些函数中，但没人能理解。正是在这些椭圆模函数中出现的魔数决定了时空的维数为10。

总之，十维理论的起源就像拉马努金本人那样神秘。每当有听众问起，“为什么大自然会存在于十维中”，物理学家们只能不得已地回答，“我们不知道。”我们含混地知道时空维度选择了一些特殊的数字（否则，弦就不能在一个自洽的量子方式下振动），但我们不知道选择这些特殊的数字的本质原因。也许答案正藏在待发现的拉马努金丢失的笔记本里。



重塑100年的数学

拉马努金于1887年出生于印度的埃罗德（靠近马德拉斯）。虽然他的家庭是婆罗门（印度最高的世袭阶级），但他们仍然穷困。家庭靠拉马努金的父亲在一个服装商的办公室里担任职员而获取的微薄薪水维持。

拉马努金10岁的时候，就体现出了和其他孩子的区别。像他之前的黎曼一样，他以惊人的计算能力而闻名。作为一个孩子，他能重新推导三角函数和指数之间的欧拉等式。

每位年轻科学家都有属于自己的转折点，一个帮助改变他或者她生活历程的奇特事件。对爱因斯坦来说，转折点在于对指南针的迷恋。对黎曼来说，转折点在于翻阅了勒让德的《数论》著作。对拉马努金来说，转折点在于偶然阅读了乔治·卡尔（George Carr）写的不起眼的、被遗忘的关于数学的书。由于这本书是拉马努金接触现代西方数学的唯一一本，因而被永载史册。据他的妹妹说，“正是这本书唤醒了他的天才。他着手建立书中提到过的公式。他没有别的参考书，只要他感兴趣，每一个解都是他所关心的一项研究。拉马努金常说是纳马卡尔（Namakkal）女神在梦中授意他公式并启发了他。”

由于他才华横溢，他获得了继续读中学的奖学金。但由于他厌烦乏味无聊的课程，并全神贯注于那些不断萦绕在他脑中的方程，他未能进入高中班，他的奖学金被取消了。他沮丧地离家出走。当他返回家中时，又因一场大病而未能通过考试。

在朋友的帮助下，拉马努金成为了马德拉斯港口信托公司的一名低级职员。这是一个低贱的工作，一年的微薄收入只有20英镑。但这份工作使他获得了自由。就像爱因斯坦在瑞士专利局一样，拉马努金可以在工作之余追随自己的梦想。拉马努金将他的“梦”的一些结果邮寄给英国三大著名数学家，希望与其他的数学思想接触。其中两位数学家收到了拉马努金这个不知名的未受过正规教育的印度职员的信，直接扔进了垃圾箱。第三位是才华横溢的剑桥数学家戈弗雷·H．哈代（Godfrey H．Hardy）。哈代习惯于接受古怪的邮件和有模糊想法的信。在浓密而潦草的字迹中，他发现拉马努金的信件中很多内容是已众所周知的数学定理。他认为拉马努金是个剽窃者，他扔掉了信件。事后，他感到有些不对劲。脑海中总闪烁着某种牵绊，他又开始关注起这封怪信来。

1913年1月16日晚餐时分，哈代和他的同事约翰·里特伍德（John

Littlewood）讨论了这封奇怪的信，决定再回看一次信中的内容。信件的开篇语写得天真而淳朴，“我是马德拉斯港口信托公司办公室财务部的一名职员，年薪只有20英镑”。但在这封贫穷的马德拉斯的职员的信中，竟含有很多西方数学家一无所知的定理。信件总计包含了120个定理，哈代惊呆了。他回忆道，“信件中的一些定理自己也曾尝试证明，但结果是‘完全失败’”，“我从未见过哪怕是稍许类似的东西。只看一眼，就足以推断书写这些内容的一定是一位高级的数学家”。

里特伍德和哈代达成了一致的惊人的结论：这显然是一个天才的工作，他致力于重新推导出欧洲的百年数学。“这是不可思议的事情，一个孤苦伶仃的印度人敢于用他的大脑挑战欧洲累积百年的智慧，”哈代回忆道。

1914年，经历了诸多困难后，哈代派人前往印度邀请拉马努金来剑桥工作。对拉马努金来说，这是第一次可以和欧洲数学界的同行交流。接下来，拉马努金开始了迅猛的工作：他在剑桥大学的三一学院与哈代合作了短暂而紧张的3年。

后来，哈代试图评价拉马努金所拥有的数学技能。他给公认的19世纪西方最伟大的数学家之一的希尔伯特打了80分，对于拉马努金，他打了100分。（哈代给自己打了25分。）

遗憾的是，无论是哈代还是拉马努金，似乎都对拉马努金发现的这些令人难以置信的定理的“心理”和“思维过程”不感兴趣。尤其是当大量材料以高速的频率从他的“梦”中涌现出来时更是如此。哈代回忆，“拉马努金几乎每天都要给我看半打新的定理，在这样的状态下，我已完全不在乎他发现这些定理的过程了。”

哈代生动地回忆道：

> 记得一次拉马努金生病住在普特尼，我去看他，乘坐的是一辆号码为1729的出租马车。我注意到这个数字似乎不吉利，心想着希望这不是一个凶兆。“不，”拉马努金回答说，“这是一个非常有趣的数——它是一个可以用两种方式表示的两个数字的立方和的最小的数。”

（$1\times1\times1+12\times12\times12=1729$；$9\times9\times9+10\times10\times10=1729$）他能及时地用算式列举出需要现代计算机才能证明的复杂定理。

拉马努金身体状况一直糟糕，饱受战争蹂躏的紧缩的英国经济使他不能保持严格的素食，他不断进出于疗养院。拉马努金与哈代共同工作3年之后，他病倒了，再也没能恢复。第一次世界大战中断了英国和印度之间的旅行。1919年，他设法回到了印度。1920年，他在印度去世。



模函数

拉马努金的遗产是他留下的3卷笔记本，总计400页4000个公式。那些公式有不可思议的幂次，却没有留下任何注释；那些令人困惑的定理，没有留下任何证明。然而，1976年，有了一个新的发现。包含他一生最后一年工作成果的130页散佚论文，在三一学院的一个箱子中被偶然发现。现在，我们将其称为拉马努金的“丢失的笔记本”。在谈到“丢失的笔记本”时，数学家理查德·阿斯基（Richard Askey）说，“拉马努金临去世这一年的工作等同于一个非常伟大的数学家一辈子的工作。他完成的工作令人难以置信。即便它是一部小说，也没人会相信它。”为了强调他们辨认“笔记本”所遇到的困难，数学家乔纳森·博温（Jonathan Borwein）和彼得·博温（Peter Borwein）评论说，“据我们所知，以前从未有人尝试过这样困难的数学编辑工作”。

看着拉马努金方程的演算，好比多年受贝多芬的西方音乐熏陶的我们，突然听到另一种类型的音乐，一种在西方音乐中从来没有听过的和谐交融、神秘美妙的东方音乐。乔纳森·博温说，“拉马努金的运作方式似乎与我们所有人都不相同。他对事物的感觉仿佛是从他的脑子里直接溢出。他不需要对这些事物有任何说明，就仿佛是在筵席上看到一个你未曾邀请的陌生人。”

如物理学家所知，任何“事故”都不会无缘无故地发生。物理学家在完成一个漫长且困难的计算时，他们发现在计算过程中出现的上千个项的和为零。物理学家们知道，一定存在一个潜在的原因或者规则致使这种情况的发生。今天，物理学家们知道，这些“事故”是对称性所引起的。就弦而言，这种对称性称为共形对称性，即拉伸或变形弦的世界面的对称性。

这正是拉马努金研究的内容。既保护共形对称性不被量子理论破坏，又能奇迹般地满足许多数学恒等式。这些恒等式就是拉马努金模函数的恒等式。

总之，我们说过，我们的基本前提是——自然法则在高维中表述时得到简化。然而，鉴于量子理论，我们必须对其进行修正。正确的说法应该是：自然法则在高维中自洽地表述时得到简化。增加“自洽”这个词是至关重要的。这一限制迫使我们使用拉马努金模函数，它将时空维数固定为10。这反过来又可能给我们提供了解释宇宙起源的决定性线索。

爱因斯坦时常自问，上帝是否有选择地创造宇宙。根据超弦理论的

说法，一旦我们要求量子理论和广义相对论统一，上帝就别无选择。他们声称，只有自洽才能迫使上帝像他所做的那样创造宇宙。

虽然由超弦理论引进的数学知识已达到令人目眩的地步，但该理论的批评者仍然在其最脆弱点敲击。他们声称，任何理论都必须是可测试的。因为在10^{28}电子伏特普朗克能量下定义的任何理论均是不可测试的，所以超弦理论并非真正的理论！

如上所述，关键问题在于理论而不在于实验。如果我们足够聪明，就能正确地求解该理论，找到该理论的真正的非微扰解。当然，这并不妨碍我们尝试一些方法来实证这一理论。为了检验该理论，我们必须等待来自第十维度的信号。

8　来自第十维度的信号

如果终极理论在我们有生之年被发现，那是多么不可思议啊！自然的终极法则的发现，标志着人类智力史的间断，标志着自17世纪近代科学肇始以来最漂亮的理论的出现。我们现在能想象出那会是什么样子吗？

——史蒂文·温伯格



物理原理是美丽的吗？

虽然超弦理论为我们提供了一个关于宇宙理论的令人信服的公式，但最根本的难题是，这个理论的实验验证似乎超出了我们目前所掌握的技术水平。事实上，这个理论预言所有的力的统一是发生在普朗克能量的条件下，即10^{28}电子伏特的能量上。这个能量大约是我们可以从实验室的加速器中提取的最大能量的10^{15}倍。

物理学家戴维·格罗斯在谈到产生这个巨大能量的资金成本时曾说，“即便将世界上所有国家金库中的钱放在一起，也远远不够。它是一个天文数字”。

这是令人失望的，因为它意味着，靠我们现有的机器或可想象的将来的机器对该理论进行实验验证成为了奢望。反过来，它还意味着十维理论并非通常意义上的理论。由于受限于我们星球上现有的技术水平，它将不能得到实验验证。于是，我们留下了这样的疑问：物理原理自身的美丽可以代替实验验证吗？

对于某些人而言，答案是一个响亮的“不”字。他们不屑一顾地嘲弄这些理论，称它们为“戏剧物理学”或“趣味数学”。最刻薄的批评家是哈佛大学的诺贝尔奖得主谢尔登·格拉肖（Sheldon Glashow）。他在这场辩论中扮演了牛虻的角色，他向其他支持高维观点的物理学家发起了攻击。他反对这些物理学家，并将当下流行的这种思想比作艾滋病毒，无可救药。他还将当前的弦理论的时尚效应与美国前总统里根的“星球大战”计划相提并论：

> 这里有一个难题：如何为两个宏伟的设计命名。这两个设计非常复杂，它们可能需要几十年甚至更长的研究开发时间，也许在现实世界它们根本就无法实现——“星球大战”与弦理论……这两个野心勃勃的设计既不能用现有的技术来实现，也不可能达到既定目标。就当下稀缺的人类资源而言，这两个项目都是代价高昂的。此外，俄罗斯正在这两个项目上拼命追赶。

为了搅起更大的争论，格拉肖甚至写了一首诗，诗的结尾处如下：

> 如果你敢大胆猜想，
> 万物理论也许超出了弦的轨形。
> 你们的一些领导已经年老僵化，

不要独自轻信异端事物。
请注意我们的忠告，不要太陶醉——
这本书还未写完，最后一个词不是威滕。

格拉肖发誓，他将阻止这些理论进入他任教的哈佛大学，却未能如愿。他承认，在这个问题上他常常寡不敌众。他遗憾地说，“在暴发的哺乳动物世界中，我发现自己是一条恐龙”。［格拉肖的观点难以得到其他诺贝尔奖获得者的认同。如默里·盖尔-曼（Murray Gell-Mann）和温伯格等人就反对格拉肖的观点。事实上，物理学家温伯格说：“弦理论为终极理论提供了唯一的候选来源——不可思议的是，竟有人阻止聪明的年轻物理学家研究它？”］

为了理解这场涉及所有力统一的争论的意义，也为了理解它的实验验证问题，考虑以下“宝石的寓言故事”的类比是有益的。

打个比方，有一块美丽的宝石，它在三个维度上是完全对称的。然而，这块宝石却并不稳定。一天，它崩裂开来，碎片飞向四面八方。它们最终落在平地上（二维世界）。平地居民好奇地试图重组这些碎片。他们将此原始爆炸称为宇宙大爆炸，但他们不明白的是——为什么这些碎片会散落在他们的整个世界中。他们最终鉴定出了两种碎片。一些碎片的表面被打磨得非常光滑，平地居民将它们比作“大理石”；一些碎片的表面呈现锯齿状，丑陋且没有规律可言，平地居民将它们比作“木头”。

多年之后，平地居民分成了两大阵营。第一阵营打算将磨光的碎片拼凑起来。慢慢地，那些打磨光滑的碎片开始拼接。这一阵营里的平地居民开始惊叹于这些光滑碎片的组合，他们坚信一定有一种强大的新型几何在起作用。这些平地居民称他们部分组合的碎片为“相对论”。

第二阵营的人致力于装配那些参差不齐的碎片。他们在寻找这些碎片的模式方面取得了有限的成功。然而，锯齿状的碎片组合在一起，只会产生一个更大更不规则的团块。他们将其称为“标准模型”。但标准模型太丑陋，没人为这个丑陋的团块感到欣慰。

经过几年的艰苦努力，人们试图将这些不同的部分拼在一起。然而，人们对“光滑的碎片”与“参差不齐的碎片”的拼接毫无办法。

有一天，一个聪明的平地居民想出了一个绝妙的主意。他宣称，如果从二维平地“向上”移动两套碎片，它们就会被重新组合起来。即在第三维度中，这些碎片将能彻底结合。大多数平地居民被这种新方法弄晕了，因为没人能理解“向上”是什么的意思。这个聪明的平地居民能够通过计算机证明“大理石”碎片可以被看作是某些物体的外部碎片，因此是光滑的；而“木头”碎片是内部碎片，因此是凹凸不平的。当两组碎片在第三维度中重组时，平地居民开始惊叹于计算机中显示出的图案：具有完美三维对称性的光芒四射的宝石。两组碎片之间的人为界限，瞬间被

纯几何的方法解决了。

然而，这个解决方案留下了几个问题，平地居民无法对这些问题进行解答。一些平地居民希望得到实验证明而不只是理论计算，这些碎片真的可以组装成这种宝石吗。这个理论给出了一个巨大的能量数值，只有拥有了这个能量才能建立强大的机器并将这些碎片“向上”抛出地面。这些碎片将在三维空间中重新组装。遗憾的是，这个能量大约为平地居民能够提供的最大能量的千万亿倍。

而另一些平地居民认为，有理论计算就足够了。虽然他们知道这缺乏实验验证，但他们认为物理原理本身的“美”足以解决统一问题。他们指出，历史总是表明，自然界最难问题的解通常都是最美的解。他们还正确地指出，三维理论没有对手，它是最好的理论。

然而，其他一些平地居民发出了怒吼。他们愤怒地说，理论无法被检验就不能称其为理论。他们声称，检验这一理论将徒劳无益地耗费聪明的头脑，浪费有价值的资源。

平地居民的辩论以及在现实世界中的争论将持续一段时间，这是一件好事。正如18世纪的哲学家约瑟夫·朱伯特曾说的，“‘辩论一个问题而不解决它’明显好于‘解决一个问题而不讨论它。’”



超导超级对撞机：创世窗口

18世纪的英国哲学家大卫·休谟（David Hume）提出任何理论都必须建立在实验基础之上的观点，并因此而闻名。他认为创世理论是无法得到实验验证的，也无法用理论来解释。他指出，实验的本质是再现性。一个实验可以反复在不同地点、不同时间重复进行，并得出相同的结果，才可以证明一个理论的正确性。相反，这个理论是不靠谱的。一个人怎能用创世本身来做实验呢？创世本身就是一个不可重复的事件。因此，休谟得出结论，任何创世理论都是不可验证的。他声称，“科学，几乎可以回答所有的与宇宙相关的问题，创世是唯一一个不能被重复的实验”。

从某种意义上说，我们遇到了休谟在18世纪发现的问题的现代版本。这个问题是：重新创造宇宙之初所需的能量，超过了地球上可用的任何能量。然而，尽管在实验室直接验证十维理论是不可能的，但我们找到了几种间接方法来处理这个问题。最合乎逻辑的处理方法是，我们希望超导超级对撞机（SSC）能发现亚原子粒子并能显示超弦的独有特征——超对称性。虽然超导超级对撞机不能探索普朗克能量，但它也许能为我们提供“超弦理论正确性”的间接证据。

被强大的政治反对派扼杀的超导超级对撞机是一个真正可怕的机器，它也是这种类型机器中的最后一个。这个机器大约在2000年在得克萨斯外的达拉斯完工，它有一个50英里（80公里）长的巨大管道，管道周围环绕着巨大的磁铁（如果以曼哈顿为中心，它将扩展到康涅狄格和新泽西）。超过3000名全职及来访的科学家和工作人员在这里进行实验，并共同分析从机器中得出的数据。

超导超级对撞机的目的是在管内加速两个质子束，直到它们的速度接近光速。因为这些质子束是沿着顺时针和逆时针两个方向运动的，当它们接近最大速度及最大能量时，必然会在管内发生碰撞。质子之间彼此碰撞，当能量达到40兆（4×10^{14}）电子伏特的能量时，质子会粉碎并产生大量的可供探测器分析的亚原子碎片。宇宙大爆炸之后，这种碰撞就再未出现过（因此，SSC又有“创世窗口”的昵称）。物理学家们希望在这些碎片中发现奇异的亚原子粒子，并寄希望于它们可以揭示物质的最终形态。

毫不奇怪，超导超级对撞机是一个非凡的工程和物理计划，它扩展了现代科学已知技术的极限。因为，在管内弯曲质子和反质子所需的磁场是巨大的（其数量级为地球磁场的10万倍）。同时，为了产生并保持

它们的运动状态，所需的物理步骤也是非常复杂的。例如，为了降低导线内部的发热和电阻问题，磁体必须被冷却到接近绝对零度。此外，磁体还需采用专业手段进行特别加固，以防止磁场过强导致金属磁体本身形变。

由于超导超级对撞机的预算造价高达110亿美元，它成为了一个令人垂涎之物和政治家施展激烈政治手腕的题材。过去，原子加速器的建造地点，由毫不掩饰的政治交易所决定。例如，伊利诺斯州之所以能将费米实验室的加速器建造在巴达维亚（芝加哥的外面），是因为林顿·约翰逊（Lyndon Johnson）总统需要伊利诺斯参议员埃弗里特·德克森（Everett Dirkson）投越南战争的关键一票（根据《今日物理》杂志）。超导超级对撞机的情况也大致相似。尽管美国的许多州都激烈争夺这一项目，但1988年，超导超级对撞机项目落脚于得克萨斯州。当时，美国总统和民主党副总统候选人均来自得克萨斯州。

虽然美国政府已花费了10亿美元在超导超级对撞机的项目上，但它却永远无法完成。令物理界感到震惊的是，1993年，众议院投票彻底取消了这个计划。物理学家们努力的游说并未恢复政府为该项目提供资金。对国会来说，昂贵的原子加速器可以从两方面看待：一方面，它可以是一个“多汁的李子”，它能产生数以千计的就业机会，并能为拥有它的州带来10亿美元的联邦财政补贴。另一方面，它也可以是一个“不可信的吞钱洞”，巨大的投入下不会带来任何收益。他们认为，这段时间的美国正值艰难时期，这个昂贵的高能物理学家的玩具是国家所不能承受的奢侈品。（公平地说，为超导超级对撞机提供资金应放在一个合适的角度下审视。“星球大战”基金一年需消耗40亿美元；整修一台航空母舰需消耗10亿美元；一架航天飞机的造价为10亿美元；一架B-2隐形轰炸机的造价接近10亿美元。）

虽然超导超级对撞机项目不幸夭折，但我们能从中发现什么呢？至少，科学家们希望能找到奇异粒子，比如由标准模型预言的希格斯粒子。希格斯粒子产生对称性破裂，故而，它是夸克质量的起源。我们希望超导超级对撞机能发现“质量的起源”。所有的我们周围有重量的物体，它们的质量均归功于希格斯粒子。

然而，物理学家之间的赌注在于，超导超级对撞机发现标准模型之外的奇异粒子的概率为50%，即成败的机会各半。（物理学家或许能找到“七彩”粒子，它们正好处于标准模型之外；又或许会找到“轴子”，它们有助于解释暗物质的问题。）物理学家最希望找到的是“超粒子”，这是一般粒子的超对称配偶子。例如，引力微子是引力子的超对称配偶子；超夸克是夸克的超对称配偶子；超轻子是轻子的超对称配偶子。

如果超对称粒子最终被发现，我们就有机会看到超弦本身的残余。（像场论的对称性那样，超对称于1971年在超弦理论中被首次发现，且先于超引力的发现。事实上，超弦或许是唯一的可使超对称与引力以完全自洽的方式结合起来的理论。）即便超对称粒子的发现不足以完全证

明超弦理论的正确性，它仍将有助于安抚怀疑论者，因为在他们的眼中不存在一丝关于超弦理论正确的物理学证据。



来自外层空间的信号

由于超导超级对撞机并未建成，因此，我们无法发现低能量共振的超弦粒子。这样，物理学家开始寄希望于另一种可能——测量宇宙射线的能量。这些宇宙射线均是高能亚原子粒子，它们的来源我们尚不清楚，但我们可以明确的是它们必定来源于我们星系之外的外太空。例如，尽管没人知道宇宙射线来自何处，但人们都知道它的能量巨大，超过了我们实验室中任何物质所携带的能量。

与原子加速器产生的受控射线不同，宇宙射线具有不可预知的能量，它不能按要求产生精确的能量。从某种意义上说，我们可以将其分别比喻为“水管灭火”与“暴风雨灭火”。“水管灭火”相比“暴风雨灭火”更方便：我们可以自定义水管开关的时间，自定义调节水流的强度，从水管中喷射出来的水均以相同的速度匀速喷出。这正好与原子加速器产生的可控制的射线束相对应。“暴风雨灭火”相比“水管灭火”更猛烈且更有效。但问题是，它像宇宙射线一样不可预测：你无法调节雨水的大小和流速，它们都呈现一种不稳定态的波动，无法预测。

宇宙射线是80年前由耶稣会传教士特奥多尔·沃尔夫（Theodor Wulf）在巴黎埃菲尔铁塔进行的实验中被首次发现。1900—1930年，勇敢的物理学家们乘坐热气球翻山越岭，以求获得宇宙射线的最佳测量结果。但宇宙射线的研究在20世纪30年代开始衰落。当欧内斯特·劳伦斯（Ernest Lawrence）发明了回旋加速器后，在实验室中产生了能量比大多数宇宙射线还高的可控光束。例如，能量为1亿电子伏特的宇宙射线就像雨滴一般常见，它们以每秒每平方英寸（6.4平方厘米）的若干速度撞击地球大气层。然而，劳伦斯的发明造就了超过该能量10倍至100倍的庞大机器。

幸运的是，自从沃尔夫首次将电罐（带电容器）放在埃菲尔铁塔上，宇宙射线实验已发生了很大的变化。现在的火箭和卫星都能将辐射计算器发送至距离地面上空的很高处，从而最大限度减小大气对计算的影响。当一个高能量的宇宙射线撞击大气时，它会击碎大气中的原子，从而引发簇射。然后，我们可以靠地面上的一系列探测器进行探测。芝加哥大学与密歇根大学的合作，开创了雄心勃勃的宇宙射线计划。1089个探测器散布在1平方英里（2.59平方公里）的巨大沙漠中，等待宇宙射线簇射将它们触发。这些探测器放置在一个理想的、孤立的地区：犹他州盐湖城西南80英里（130公里）处的达格韦试验场。

犹他探测器足够灵敏，它们能识别出一些最有活力的宇宙射线的起

源点。今天，天鹅座X-3和武仙座X-1已被确定为强大的宇宙射线发射源。它们可能是大型的自旋中子星，也可能是黑洞。它们正在慢慢吞噬伴星，形成一个巨大的能量漩涡，并将大量的辐射（例如质子）喷射到外层空间。

到目前为止，我们探测到的最有活力的宇宙射线的能量为10^{20}电子伏特。这个数字是一个令人难以置信的能量，比超导超级对撞机可产生的能量还要高1000万倍。这个能量比探索第十维度所需的能量小1亿倍。我们不指望在20世纪内用我们的机器产生出接近宇宙射线的能量，但我们希望在我们星系内黑洞深处产生的能量将接近普朗克能量。有了大型的轨道航天器，我们应该能够深入探测这些能源的结构，并探测到比这更大的能量。

根据一个公认的理论，我们银河系的最大的能量来源位于银河系的中心（这个能量远大于天鹅座X-3或武仙座X-1产生的任何能量）。它由几百万个黑洞组成。鉴于国会取消了超导超级对撞机的建设项目，我们认为，探索第十维度的最终地点应该是在外层空间。



测试无法检验的事物

从历史上说，物理学家曾多次郑重宣布某些现象是“不可测试的”或“不可证明的”。但也有另一种态度，科学家们可以认为普朗克能量难以得到，但我们也许能通过普朗克能量的周边进行间接实验，从而做出意料之外的突破。

19世纪，一些科学家宣称恒星的组成是无法用实验测量的。1825年，法国哲学家和社会评论家奥古斯特·孔德（Auguste Comte）在《哲学的进程》中写道，“恒星距离我们太遥远，我们除了知道恒星是天空中不可达到的光点外，对它的其他信息一无所知”。他认为，19世纪乃至以后的任何世纪的机器都无法为人类提供足够大的力量逃出地球并抵达恒星。

尽管确定恒星是由什么构成的，似乎超出了科学的能力。但具有讽刺意味的是，几乎在同一时间德国物理学家约瑟夫·冯·夫琅和费（Joseph von Fraunhofer）却正在做这件事。他利用棱镜和分光镜分离从遥远恒星发出的白光，并确定恒星的化学组成。由于恒星内的每一种化学物质都有一种特征性的“指纹”或光谱，这让夫琅和费很容易地将“不可能”变为了“可能”——他确定了氢是恒星中最丰富的元素。

这激发了诗人伊恩·D．布什（Ian D．Bush）的写作灵感：

一闪一闪小星星，
究竟何物现奇景。
我有光谱分析仪，
知道原来你是氢。

因此，尽管火箭达到恒星所需要的能量远远超出了孔德所知道的一切能量（或者说，超过了现代科学能提供的一切能量），但关键的环节并不不涉及能量。解决问题的关键在于观测来自恒星的信号，而不在于直接的测量。同理，我们希望找到从普朗克能量发出的信号（也许来自宇宙射线或者一个未知源）来探测第十维度，而不是通过巨大的原子加速器进行直接测量。

“不可测试的”思想的另一个例子是原子的存在性。19世纪，原子假说被证明是理解化学和热力学定律的关键点。然而，许多物理学家拒绝相信原子的存在。他们认为原子也许只是一种数学手段，碰巧，它们偶然给出了这个世界的正确描述。例如，哲学家恩斯特·马赫就不相信原子

的存在，他认为原子只是一个计算工具。（甚至今天，鉴于海森堡的测不准原理，我们仍然无法直接拍摄原子的照片，虽然物理学家现在已掌握了间接的方法。）1905年，爱因斯坦给出了最有说服力的“原子具有存在性”的间接证据。他发现布朗运动（即灰尘颗粒悬浮在液体中的随机运动）可以被解释为“液体中的微粒和原子间的随机碰撞”产生的结果。

同理，我们希望找到尚未发现的间接方法对第十维度的物理理论进行实验确认。如果不能直接拍摄到我们想要的对象，也许我们能拍摄到其“影子”的照片。用间接的方法仔细分析从原子加速器得到的低能数据，以判断是否存在十维物理以某种方式影响了这些数据。

物理学中的第三个“不可测试的”的思想是难以捉摸的中微子的存在。

1930年，物理学家沃尔夫冈·泡利（Wolfgang Pauli）假设了一个新的，看不见的粒子，并将其称为中微子。他假设中微子存在的目的是，解释某些放射性实验中似乎破坏了物质和能量守恒消失的那部分能量。然而，泡利意识到，中微子几乎不能在实验中被观察到。因为他们与物质的相互作用非常弱且稀少。例如，如果我们能建造一个巨大而坚实的块铅，从我们的太阳系拉伸出几光年到半人马座阿尔法星。我们将它放置在中微子光束的行经路径上，其结果是部分中微子仍会从块铅的另一端穿出来。中微子能穿透地球，就好像地球根本不存在一样。事实上，从太阳发射出的无数个中微子在不停地穿透你的身体，即使晚上也是如此。泡利承认，“我罪过深重，我预言了一个不可观察的粒子的存在”。

中微子令人难以捉摸，无法被观察。这激发了约翰·厄普代克写下一首名叫《宇宙的烦恼》的诗：

中微子，它们非常小。
它们没有电荷也没有质量，
也没有交互作用。
地球只是一个糊涂的球。
中微子轻松地穿过地球，
就像灰尘落穿过通风的大厅，
或像光子穿过玻璃板。
它们傲视最紧致的气体，
忽略最坚实的墙壁，
轻视钢和坚固的黄铜，
蔑视马厩中的骏马，
不屑种类的障碍，
难以置信地渗透你我！
无痛的断头台，
他们会穿过我们的头进入草地。
晚上，他们进入尼泊尔，
从床的下面刺穿情人和他的姑娘。

太美妙了，我什么也感觉不到。

中微子几乎不与其他物质相互作用，所以它一直被认为是“不可测试的”。但今天，我们时常在原子加速器中发现中微子束；我们用从核反应堆中产生的中微子做实验；我们在距离地面最深处的矿井中检测到了它们的存在。（事实上，当一个壮观的超新星在1987年照亮了南半球的天空时，物理学家注意到一串突然袭来的中微子穿过了他们深埋在矿井中的探测器。这是中微子探测器首次用于至关重要的天文测量。）中微子在短短的3年间，已从“不可测试的”转化为现代物理学的一个重要组成。



问题是理论性的，而不是实验性的

从科学史的长远观点来看，可能存在一些乐观的理由。威滕相信，科学界终将有一天能够探测到普朗克能量。他说：

> 哪些是容易的问题，哪些是困难的问题——很难说出。19世纪，为什么水在100摄氏度会沸腾的问题是无法解决的，也是毫无希望的。如果你告诉19世纪的物理学家，到了20世纪你就能计算并解决这个问题，这听上去就像一个童话……量子场论太难了，以至于25年来，没人能完全相信它。

威滕认为，“好主意总会得到检验”。

天文学家亚瑟·爱丁顿甚至发出质疑，“科学家认为一切事物都应接受检验，这或许言过其实了”。他写道：“科学家普遍表示他的信念是基于观察，而不是理论。……但我从未碰到将这一表述付诸实施的人。……观察是不够的……理论在确定信念中起着重要作用。”诺贝尔奖获得者保罗·狄拉克说得更为直白，“方程有美感比方程与实验相符更加重要。”或者用欧洲核子研究中心物理学家约翰·埃利斯（John Ellis）的话来说，“几年前，我打开了一个糖果包装纸，里面记录了这样一句话：‘只有乐观主义者才能在这个世界上有所作为。’我和一些怀疑论者一样，认为我们间接测试十维理论的最好时间是21世纪。这是因为，这个理论归根到底是一个创世理论。因此，如果我们希望检验它，必然将在我们的实验室里重新创造一次‘大爆炸’”。

就我个人而言，我不认为我们需要等上100年。我们的加速器、太空探测器、宇宙射线计数器，就能足够强大地间接探测到第十个维度。也许只需要几年时间，在当今物理学家们的有生之年中，某个聪明的物理学家能够通过求解弦场论或通过其他非微扰公式，来证实或否证十维理论。因此，这个问题是理论性的，而不是实验性的。

假设某个聪明的物理学家解决了弦场论，并导出了我们宇宙的一些已知性质。但仍然存在一个实际问题——我们什么时候可以利用超空间理论的威力。有如下两种可能性：

> 1．等到我们的文明掌握了比我们今天能掌握的能量大万亿倍的能量的时候。

> 2．遇到已经掌握了操纵超空间技艺的地外文明的时候。

我们回忆一下，从法拉第和麦克斯韦的工作到爱迪生和他的合作者实际掌握电磁力，大约经历了70年的时间。然而，直到今天，现代文明的发展依然在很大程度上依赖于这个力的运用。核力在世纪之交被发现，但80年过去了，我们仍然没有办法在核聚变反应堆中成功地控制它。下一步，我们希望掌握并利用统一场论的威力，我们的技术需要有更大的飞跃，这或许具有非常重要的意义。

根本性问题在于，我们正迫使超弦理论解答关于日常能量的问题，即超弦理论的“天然归宿”（自然之家）在于普朗克能量。这个巨大的能量，只有在创世那一时刻才释放出来。换句话说，超弦理论天生就是一种创世理论。好比笼中的猎豹，我们为了取乐要求这个雄健的动物为我们唱歌跳舞。事实上，猎豹真正的“家”是广袤的非洲平原，超弦理论真正的“家”是创世时刻。然而，如果我们的人造卫星技术足够先进，或许我们能在太空建造一个最终的“实验室”，我们在那里用实验探测超弦理论的天然归宿，这就是创世的回声！

9　创世之前

> 最初宇宙是个鸡蛋。鸡蛋里面是混沌，漂浮在混沌上的是盘古，神的胚胎。
>
> ——盘古神话（中国，3世纪）

> 如果上帝创造了世界，他在创世之前在哪里？……世界是自存的，就像时间本身，无始无终。
>
> ——《摩诃往世书》（印度，9世纪）

“上帝有妈妈吗？”

孩子们被告知天地是上帝创造时，他们会天真地问上帝是否有一个母亲。这个看似简单的问题难倒了教会的长老，它使最优秀的神学家也感到尴尬。这个问题引发了多个世纪以来最棘手的神学辩论。世界上几乎所有伟大的宗教都围绕创世活动留下了诸多神话，但它们都没有恰当地正视孩子们所问问题中固有的逻辑悖论。

上帝可以用7天时间创造天地，但在第1天之前发生了什么？如果承认上帝有一个母亲，那么，上帝母亲的母亲又是谁？这个问题会一直循环下去。然而，如果上帝没有母亲，这个答案会引出更多的问题：上帝来自哪里？上帝是永生不朽，还是超越了时间本身？

几百年来，甚至由教会任命的大画家在他们的艺术品中也在设法解决这些棘手的神学争论。当描绘上帝、亚当、夏娃时，你画他们的肚脐吗？因为肚脐标志着脐带的连接点，所以上帝、亚当、夏娃都不能画肚脐。例如，米开朗基罗在为西斯廷教堂的天花板作画（著名的创世和亚当、夏娃从伊甸园被驱逐出来的画中）时，就面临过这种困境。这个神学问题的答案悬挂在诸多西方大博物馆中：上帝、亚当、夏娃没有肚脐，因为他们是万物之先。



上帝存在的证据

圣·托马斯·阿奎那在13世纪进行写作时，为教会意识形态中的自相矛盾深受困扰。他决定从神话的模糊性到逻辑的严密性提出一个神学辩论的准则。在他著名的《上帝存在的证明》一书中，他打算解决这些古老的问题。

阿奎那在下面的诗中总结了他的证据：

万物在动，故有先行者。
万物皆由原因引起，故有第一个原因。
万物存在，故有创造者。
完美的善存在，故有根源。
万物皆被设计，故有目的。

（前3行是宇宙论证明的变种，第4行是道德论基础，第5行是目的论证明。道德证明是最薄弱的，因为道德可以用演变的社会习俗来看待。）

阿奎那对上帝存在的“宇宙论”与“目的论”的证据的列举，已被教会用于回答这个棘手的神学问题长达700年时间。尽管历经700年所取得的科学发现已证明了这些证据存在缺陷，但在他们的时代这些证据却相当巧妙。它们显示了希腊人对世界产生的影响，希腊人是地球上第一个将严谨引入到对自然作出推测的人。

阿奎那假设上帝是第一推动者和第一制造者，开始了自己的宇宙论证明。他巧妙地声称“谁创造了上帝”这个问题没有意义，从而精明地避开了这个问题。上帝没有制造者，因为他是第一制造者。宇宙论证明：所有运动的物体一定承受了一个推动力，推动力的存在意味着一定存在推动者。但是，谁是第一推动者呢？

想象一下，此刻你懒洋洋地坐在公园里看见一辆小车在你面前移动。很明显，你会主观认为这辆小车一定被一个小孩推动。片刻后，你发现推动第一辆小车的是另一辆小车。奇怪的是，你一直等待的小孩并未出现，你等到的结果是，推动着前面两辆小车的是第三辆小车。随着时间的推移，你见证了数以百计的小车，它们都是靠着其他车辆推动。你大惑不解地望向远处，惊讶地发现一列无限长的小车延伸在地平线上，一辆推着一辆，根本没有孩子。那么，在没有第一推动者的前提下，一个无限系列的小车能被推走吗？一个无限系列的小车能自我推动

吗？“不”，所以上帝必须存在。

目的论的证明更具说服力。它指出必须存在第一制造者。想象一下，我们行走在火山的沙地之上，在那里，风和沙尘暴侵蚀着山川和巨大的火山口。几千万年来，没有任何东西能逃过沙尘暴的腐蚀性和磨损作用。此外，让你吃惊的是，你在沙丘上发现一个漂亮的相机。相机镜头是平滑抛光的，快门装置非常灵敏。你一定会认为，火星的沙子不可能创造出如此美丽的手工艺品。你断定有个很聪明的人制造了这台相机。最终，你在火星表面游荡一阵后，遇到了一只兔子。显然，兔子的眼睛的结构比相机的镜头复杂得多。兔子的肌肉比相机的快门复杂得多。因此，这只兔子的制造者必须比照相机的制造者更为先进。因此，第一制造者必须是上帝。

我们再想象一下地球上的机器。毫无疑问，这些机器是由人类制造的。与机器相比，人类复杂得多。以此类推，创造我们的人一定比我们复杂得多。因此，上帝必然存在。

1078年，坎特伯雷大主教圣安瑟伦编造了也许是最完美的有关上帝存在的证据——本体论的证据。这个证据并不依赖于第一推动者或第一制造者。圣安瑟伦声称，他能从纯逻辑的观点证明上帝的存在。他把上帝定义为最完美的、最强大的，且可以想象的强有力的生物。我们设想两种类型的上帝。我们假设第一个上帝不存在，第二个上帝确实存在。第二个上帝能创造奇迹，如分离河流和复活死者。显然，第二个上帝（存在）比第一个上帝（不存在）更完美、更强大。

然而，我们定义上帝是最完美的、最强大的，且可以想象的强有力的生物。根据上帝的定义，第二个上帝（存在）更完美、更强大。因此，第二个上帝符合上帝的定义。第一个上帝（不存在）弱于第二个上帝，不符合上帝的定义。因此，上帝必然存在。换句话说，如果我们把上帝定义为“至高无上”，那么，上帝必定存在。因为如果它不存在，我们就能想象出存在更伟大的上帝。与托马斯·阿奎那不同的是，这种证明相当巧妙。它与创世论无关，它只依赖于完美存在的定义。

值得注意的是，这些上帝存在的“证明”延续了700多年，藐视科学家和逻辑学家的反复挑战。其原因在于，当时的人们对物理学和生物学的基本定律认识不足。事实上，在过去的100年，人们逐渐发现了新的自然法则，可以找出这些证据中潜在的漏洞和缺陷。

例如，宇宙论证明中的缺陷是：质量和能量守恒即可解释物体运动，而并不需要借助第一推动者。例如，气体分子无需任何人或任何物，就能自我运动并与容器壁发生弹回碰撞。原则上，这些分子处于永动状态，无始无终。因此，只要质量和能量守恒，运动根本不需要推动者。

目的论证明中的缺陷是：进化论告诉我们，一个物种可以从更原始

的物种那里通过自然选择和机遇进化为更高级、更复杂的生命形式。最终，我们可以将生命的起源追溯到早期地球海洋中自发形成的蛋白质分子，而无需诉诸更高的智能。斯坦利·米勒（Stanley L．Miller）在1955年进行的研究表明：在包含组成早期地球大气的甲烷、氨和其他气体的容器中进行火花放电实验，可以自发生成复杂的碳氢化合物分子，并能最终形成氨基酸（蛋白质分子的母体）和其他复杂的有机分子。因此，第一制造者并非创造生命的必要条件。事实上，只要时间充足，生命可以从无机化学物质中自然地演变出来。

最后，伊曼纽尔·康德（Immanuel Kant）在经过了几个世纪的混乱后第一个指出了本体论证明中的错误。康德指出，“一个物体存在并不能使它更完美”。例如，我们用它来证明独角兽的存在。如果我们将独角兽定义为可以想象的最完美的马，如果独角兽不存在，就可以想象一个独角兽是存在的。但“存在着的独角兽”并不比“不存在的独角兽”更完美。因此，独角兽不一定必然存在，上帝也不一定必然存在。

自圣·托马斯·阿奎那和圣安瑟伦的时代以来，我们取得了进步吗？

答案既是肯定的也是否定的，我们可以说，现在的创世理论均基于两个支柱：量子理论和爱因斯坦的引力理论。1000多年里我们第一次可以说，“上帝存在的宗教证明”正被“我们对热动力学和粒子物理学的理解”所取代。然而，我们用“大爆炸”观点取代“上帝创世”观点，实际上是用一个“更难的问题”取代了一个“较难的问题”。“上帝创世”观点持有者阿奎那认为，他把上帝定义为第一推动者，即解决了上帝之前有什么的问题。“大爆炸”观点持有者的我们，直至今日也不明白大爆炸之前发生了什么。

不幸的是，爱因斯坦方程不适用于“极小距离”和“极大能量”条件下的演算。当距离小到10^{-33}厘米时，量子效应取代了爱因斯坦的理论。因此，要解决“时间始于何时？”这个哲学问题，就必须引入十维理论。

这本书中，我们强调了物理定律在增加更高维度时将得到统一的事实。当研究大爆炸时，我们看到了这一表述的逆过程。大爆炸可能起源于原始十维宇宙裂解成四维宇宙和六维宇宙的过程。于是，我们可以把宇宙大爆炸的历史看作十维空间分裂的历史，即上述统一对称性解体的历史。这也是本书以逆时针方向进行研究的主题。

因此，将大爆炸动力学拼凑起来显得如此艰难就不足为奇了。实际上，通过逆时间回溯，我们正在重组十维宇宙的碎片。



宇宙大爆炸的实验证据

每年，我们都能找到大爆炸发生在大约150亿—200亿年前的许多实验证据。让我们先回顾一下这些实验结果。

第一，恒星正以惊人的速度离我们而去，这一事实通过测量它们的星光畸变（称为红移）已反复得到证实。（远离我们的恒星的星光移到更长的波长上，即向光谱的红色末端移动。这个道理等同于列车向我们驶来，距离我们较远处传来的汽笛声较低，距离我们较近处传来的汽笛声较高。

这就是所谓的多普勒效应。此外，哈勃定律也指出，恒星或星系距离我们越远，它远离我们的速度就越快。这一事实在1929年由天文学家埃德温·哈勃首次公布，且在过去的50年里得到了实验验证。）我们从未见过遥远星系的蓝移，因为蓝移意味着一个坍缩的宇宙。

第二，我们知道银河系中，化学元素的分布与大爆炸和恒星中形成重元素的预言几乎完全吻合。在最初的大爆炸中，由于热量巨大，氢的原子核以足够大的速度互相撞击聚合形成了一个新的元素：氦。宇宙大爆炸理论预言，宇宙中氦与氢的比例为25%：75%。这与宇宙中氦的丰度的观测结果相符。

第三，宇宙中最早的物体可以追溯到100亿—150亿年前，这与宇宙大爆炸的粗略估计是相吻合的。我们看不到比大爆炸更古老的物体的任何证据。因为放射性物质以精确的已知速率衰变（例如，借助于弱相互作用），所以通过计算某些放射性物质的丰度可以推算物体的年龄。例如，我们知道放射性物质碳-14的半衰期为5730年，我们故能确定含碳的考古文物的年龄。我们还可以通过其他放射性元素（如铀-238，半衰期为40亿年）确定月球岩石的年龄（从“阿波罗”飞船得到）。在地球上发现的最古老的岩石和流星大约有40亿—50亿年。这也是太阳系的大致年龄。通过对某些已知恒星质量的计算，我们能证明银河系中最古老的恒星的年龄可以追溯到100亿年前。

第四，也是最重要的，大爆炸产生的宇宙“回声”回荡在整个宇宙中，我们可以用仪器进行探测。事实上，贝尔实验室的阿尔诺·彭齐亚斯（Arno Penzias）和罗伯特·威尔逊由于探测到大爆炸的“回声”（即一种贯穿宇宙的微波辐射），而获得了1978年的诺贝尔奖。大爆炸的回声在大爆炸之后的几十亿年里一直在宇宙中回响。这一事实被乔治·伽莫夫和他的学生拉尔夫·阿尔弗（Ralph Alpher）、罗伯特·赫尔曼（Robert

Herman）首次预言，但并未引起人们的重视。他们首次提出这个想法，正值第二次世界大战结束后不久，测量创世回声这个想法在当时是非常古怪的。

然而，他们的逻辑十分令人信服。任何物体受热后都会发出辐射。这就是为什么将铁放在炉子里，铁会变红的原因。铁越热，它发出的辐射频率就越高。一个精确的数学公式，斯特藩-玻耳兹曼定律（Stefan-Boltzmann），将光的频率（或在这种情况下光的颜色）与温度关联起来。（事实上，这就是科学家如何通过观察颜色来确定遥远恒星的表面温度的办法。）我们称这种辐射称为黑体辐射。

当铁冷却时，发出的辐射频率也会降低，直到铁在可见光范围内不再发出辐射。铁回到了正常的颜色，但它依然会继续发出不可见的红外线辐射。这就是军用夜视镜在黑夜工作的原理。在夜间，相对较暖的物体，如敌军的士兵和坦克的发动机会隐藏在黑暗中不易于被人们发现，但它们会继续以红外线辐射的形式发射不可见的黑体辐射。这种辐射可以被专门的红外镜探测到。这也是为什么你的密闭汽车车内在夏天会变热的原因。阳光穿透你汽车的玻璃，使室内变暖。随着车体的变热，它开始以红外线辐射的形式发射黑体辐射。然而，红外线辐射不能有效地穿透玻璃，故而被困在车内，极大地提高了车内的温度。（同理，黑体辐射引起了温室效应。像玻璃一样，矿物燃料燃烧引起大气中二氧化碳含量的上升，会使地球的红外黑体辐射难以散发，从而逐渐使地球变暖。）

伽莫夫推断，宇宙大爆炸之初热量极大，因此是理想的黑体辐射源。虽然20世纪40年代的技术太落后，无法探测这个来自创世的微弱信号。但伽莫夫可以计算出这种辐射的温度，并大胆地预言，总有一天我们的仪器会灵敏到足以探测到这种“化石”辐射。他的思维逻辑是：“大爆炸之后约30万年，宇宙冷却到原子开始凝成的温度。电子开始绕质子循环运动形成稳定的原子，原子将不再被渗透在宇宙中的强烈的辐射所破坏。在此之前，宇宙非常热，原子一经形成就被辐射打破。”这意味着宇宙大爆炸之初是不透明的，像一团厚厚的、吸收力强的、无法穿透的雾。然而，30万年后，辐射不再足够强大，无法分解原子，因此光可以远距离传播而不被散射。换句话说，宇宙在30万年后突然变得黑暗和透明。（我们已经习惯于听到“外层空间的黑暗”，以至于我们容易忽略早期的宇宙并非透明的，而是充满了不稳定的、不透明的辐射。）

30万年后，电磁辐射不再与物质发生强烈的相互作用，从而成为黑体辐射。渐渐地，随着宇宙的冷却，这种辐射的频率降低了。伽莫夫和他的学生计算出该辐射将远低于红外线范围而进入微波区。伽莫夫推理，通过扫描天空以获得均匀的、各向同性的微波辐射源，人们将可以探测到这种微波辐射并发现宇宙大爆炸的回声。

伽莫夫的预言被人们遗忘了好几十年，直到1965年人们意外发现了微波背景辐射。彭齐亚斯和威尔逊在新泽西州霍姆德尔打开他们的新喇

叭形反射器天线时，发现了一种贯穿所有空间的神秘的背景辐射。他们起初认为这种不必要的辐射是由于静电污染引起的（例如天线上的鸟粪）。但当他们拆开并清理完大部分天线时，他们发现“静电污染”仍然存在。与此同时，普林斯顿大学的物理学家罗伯特·迪克（Robert Dicke）和詹姆斯·皮伯斯（James Peebles）重新想起了伽莫夫的古老计算。当彭齐亚斯和威尔逊得知普林斯顿物理学家的工作时，明显地，他们的研究结果存在着直接的关系。当他们意识到背景辐射可能是原始宇宙大爆炸的回声时，他们说：“要么，我们看到了一堆鸟屎；要么，我们看到了宇宙的创世！”他们发现，这种均匀的背景辐射几乎就是多年前由乔治·伽莫夫和他的合作者预言的东西，这是宇宙大爆炸留下的残余层辐射冷却到3开（开尔文）的结果。



宇宙背景探测和大爆炸

也许宇宙大爆炸理论的最壮观的科学论据来自1992年“宇宙背景探测卫星”（COBE）探测的结果。1992年4月23日，全美国报纸的头条新闻均被加州大学伯克利分校乔治·斯穆特（George Smoot）领导的科学家团队的研究结果占据。他宣布了最具戏剧性的，也最令人信服的大爆炸理论的论据。一群既无物理学背景也无神学背景的记者和专栏作家们，在他们的新闻报道中突然增加了关于“上帝的面目”的雄辩。

宇宙背景探测卫星能够将彭齐亚斯、威尔逊、皮布尔斯和迪克的早期工作提高许多个数量级，足以排除所有的宇宙学疑问——大爆炸发出的化石辐射被最终发现。普林斯顿宇宙学家耶利米·P．奥斯提克（Jeremiah　P．Ostriker）宣称，“当人们在岩石中发现化石，它使物种起源变得清晰。好啊，宇宙背景探测卫星也发现了属于它的化石”。1989年底发射的宇宙背景探测卫星是专为分析由乔治·伽莫夫及其他的同事首次提出的微波背景辐射结构中的微观细节而计划的。宇宙背景探测卫星的使命也有了一个新的任务：澄清背景辐射引起的早期困惑。

彭齐亚斯和威尔逊的原始工作是粗糙的，他们只能证明背景辐射平滑到10%。当科学家们分析了背景辐射的更多细节后，他们发现背景辐射非常光滑，没有明显的波纹、扭结及斑点。事实上，它太平滑了。背景辐射就像一团光滑的看不见的雾弥漫在宇宙中，它是如此均匀，以至科学家们很难将它与已知的天文数据相协调。

20世纪70年代，天文学家们转动他们的巨大的望远镜，系统地绘制了大片天空中的星系集合。令他们吃惊的是，他们发现宇宙在大爆炸10亿年后就逐渐呈现出一种聚集成星系，甚至更大的星系团，以及被称为巨洞的巨大又空虚的空间的模样。星系团是巨大的，星系团可以包含数十亿个星系；巨洞延伸的尺度则以数百万光年计。

但这里有一个宇宙之谜：如果大爆炸是光滑且均匀的，那么，10亿年时间对于形成我们现在看到的星系团中的物质聚集是完全不够的。原始的光滑的大爆炸和10亿年后的宇宙团块之间的总体是不匹配的。这个难题折磨着每一位宇宙学家。大爆炸理论本身是得到肯定的，问题出在我们对创世之后10亿年的“后大爆炸”演化的认识。由于人们缺乏可以测量宇宙背景辐射的敏感的卫星，这一难题困扰了人们许多年。事实上，到了1990年，缺乏严格科学背景的记者开始编写一些耸人听闻的文章，错误地宣称科学家们已发现了大爆炸理论本身的致命漏洞。许多记者写道，大爆炸理论即将被推翻。长期以来声名狼藉的大爆炸理论的替代品

开始在媒体面前露面。就连《纽约时报》也发表了一篇重要文章，称大爆炸理论陷入了严重的困境（这在科学上是不正确的）。

这场围绕大爆炸理论的伪争议使宇宙背景探测卫星数据的公布变得更加有趣。宇宙背景探测卫星能用前所未有的精度（探测十万分之一变化的能力）探索天空，并用无线电发回宇宙背景辐射的前所未有的最精确的画面。宇宙背景探测卫星的结果再次确认了大爆炸理论以及更多的东西。

然而，宇宙背景探测卫星的数据分析起来并不容易。斯穆特领导的团队面临着诸多巨大难题。例如，他们必须仔细地消去背景辐射中地球的运动效应。太阳系相对于背景辐射以每秒370公里的速度漂移。这里还存在太阳系对银河系的相对运动，以及银河系相对于星系团的复杂运动。尽管如此，经过艰苦的计算后，人们分析出了一些令人震惊的结果。首先，微波背景以0.1%的误差与乔治·伽莫夫的早期预言（用更精确的实验数据加以调整）相吻合（图9.1）。图中的实线代表乔治·伽莫夫的预言；×代表宇宙背景探测卫星测量的数据点。当这幅图首次展现在大约1000位天文学家会议的屏幕上时，房间里的每个人都起立鼓掌。这也许是科学史上的首次以一幅简单图表就得到了如此众多杰出科学家的雷鸣般的掌声的典型案例。

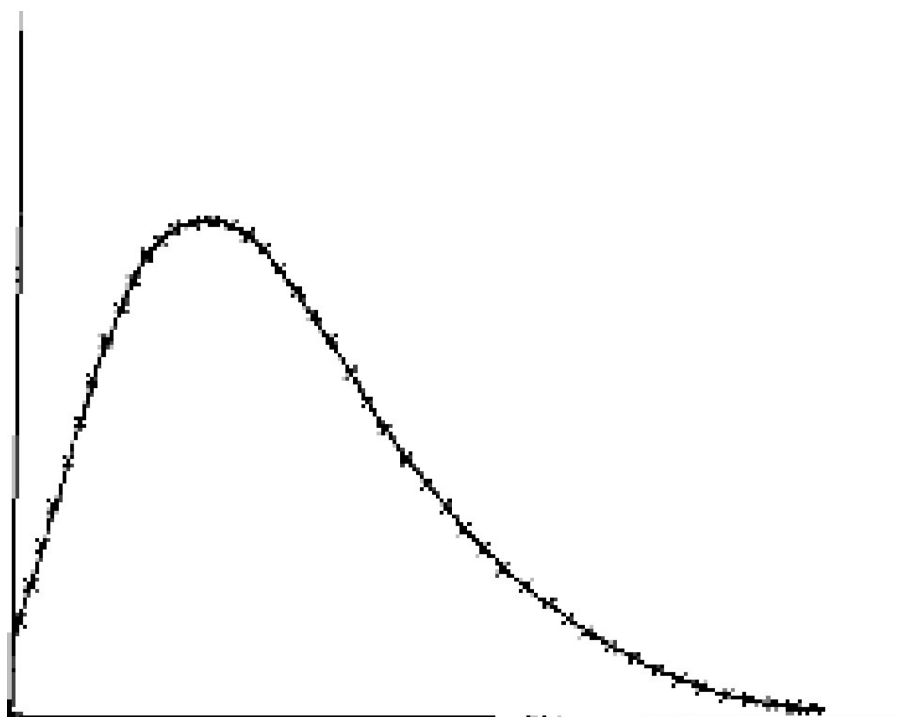


图9.1　实线代表大爆炸理论做出的预言，它预言宇宙背景辐射应类似于微波波段的黑体辐射。×代表宇宙背景探测卫星收集的实际数据，给我们提供了宇宙大爆炸理论的最有说服力的证据。

其次，斯穆特团队证明，极小的几乎是微观的斑点确实出现在了微波背景上。这些微观的斑点就是有待解释的大爆炸后10亿年所发现的星团和巨洞。（如果这些斑点未被宇宙背景探测卫星发现，科学家就不得不在“后大爆炸”分析中做出重大修正了。）

再次，尽管这些结果与所谓的膨胀理论相一致，但并未证明膨胀理论。[这个理论是由美国麻省理工学院阿兰·古斯（Alan Guth）提出的。在宇宙创世的初始瞬间，宇宙的爆炸式膨胀比通常的大爆炸场景大得多。他认为我们的望远镜看到的宇宙只是一个更大宇宙的微小局部，宇宙本身远超出了我们可见的视野。]



创世之前：轨形

宇宙背景辐射卫星的测量结果让物理学家们有信心了解大爆炸后瞬间宇宙的起源过程。然而，我们仍然面临着一个尴尬的问题——宇宙在大爆炸之前是什么？为什么会发生大爆炸？在极限条件下，广义相对论会指向荒谬的答案。爱因斯坦意识到广义相对论在这些极小的距离上会失效，因此，他试图将广义相对论推广到一个更全面的理论来解释这些现象。

在宇宙大爆炸的瞬间，我们期望量子效应是制服引力的主要的力。因此，宇宙大爆炸起源的关键是量子引力理论。到目前为止，声称可以解决大爆炸之前秘密的唯一的理论只有十维弦理论。科学家们现正在推测十维宇宙如何分裂为一个四维宇宙和一个六维宇宙。我们的孪生宇宙是什么样子的？

一个正在与这些宇宙难题作斗争的物理学家，是哈佛大学的教授卡姆拉姆·瓦法（Cumrum Vafa）。他花了数年时间研究十维宇宙是如何分裂为两个较小的宇宙的。具有讽刺意味的是，他也是一个被两个世界撕裂的物理学家。瓦法生活在马萨诸塞州的坎布里奇，他出生于伊朗。在过去的10年里，伊朗一直饱受政治动乱。一方面，瓦法希望在社会混乱平息之后回到自己的祖国伊朗；另一方面，他的研究使他远离了那片受难的国土，他的研究让他进入了遥远的六维空间，即宇宙早期的骚动有机会稳定下来的很久之前。

“想象一个简单的电子游戏，”他说，“火箭飞船可以在屏幕上旅行，直至达到屏幕最右边。任何一个电子游戏玩家都知道，火箭飞船会突然从屏幕的左边出现，火箭从左边出现的高度与火箭从右边消失的高度相同。同理，如果火箭飞船走得太靠屏幕的底部，它会重新出现在屏幕的顶部。”因此，瓦法解释说，在那个屏幕上有一个完全自包含的宇宙。你永远不能离开那个屏幕定义的宇宙。即便如此，大多数青少年却从未自问“那个宇宙实际上应该是什么形状的”。瓦法十分惊讶地指出，“这样的屏幕画面的拓扑结构等同于内管的拓扑结构！”

我们将屏幕想象成一张纸。由于屏幕顶部的点与底部的点相同，我们可以用胶水将顶部和底部粘连起来。现在，这张纸已被卷成了一根管子。管子左边的点和管子右边的点相同，将这两个末端粘连起来的方法是——将管子慢慢地弯曲成一个圆圈，并用胶水将两个端口封闭（图9.2）。

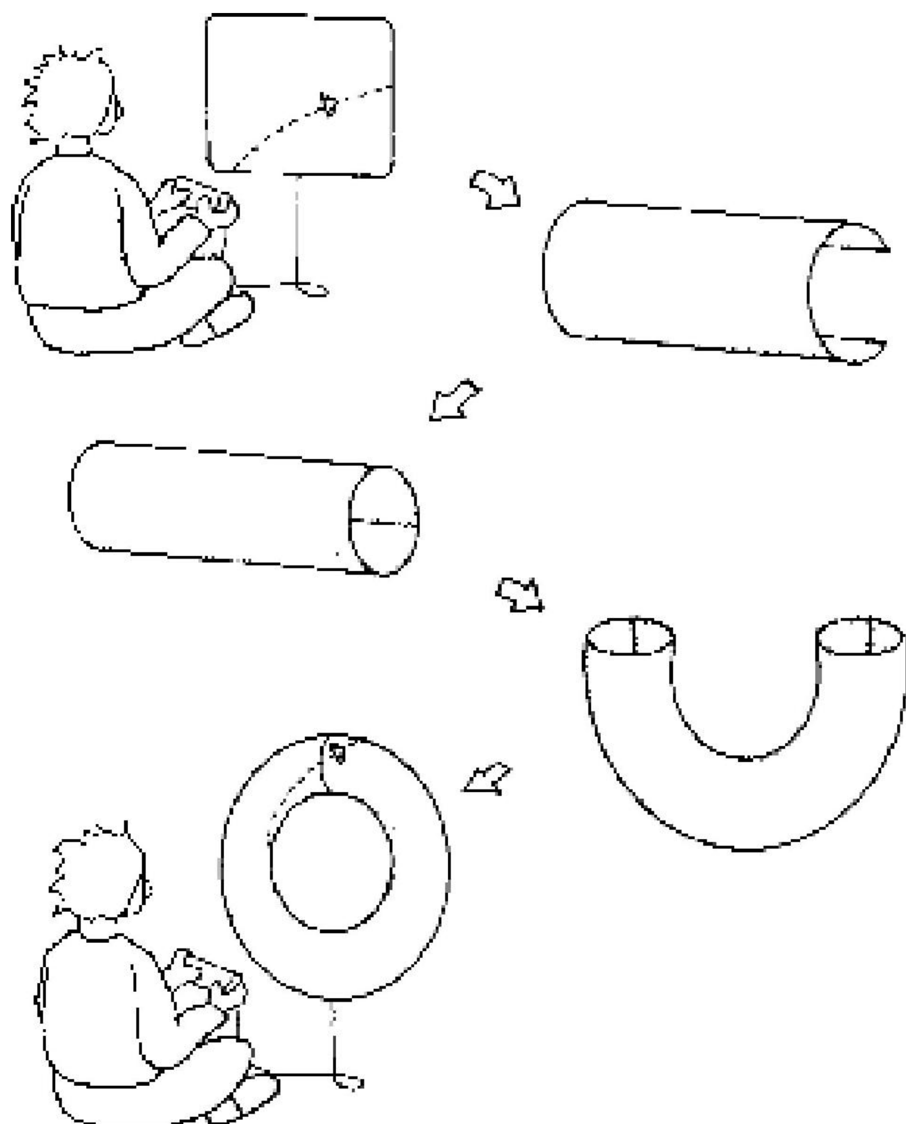


图9.2　如果火箭消失在游戏屏幕画面的右边，它将重新在左边出现。如果它在顶部消失，它会在底部重新出现。现在把屏幕卷起来，使相同的点匹配。首先，通过将屏幕卷成管来匹配顶部和底部点。然后，将屏幕卷成一个圆圈，把左右两边的点匹配起来。这样，就可以证明一个游戏屏幕有一个油炸圈的拓扑结构。

我们所做的是把一张纸变成一个油炸圈。在游戏屏幕上漫游的火箭船可以被描述为在内管的表面移动。每次火箭从屏幕一边消失，再出现在屏幕的另一边，这相当于火箭船穿过内管的胶接点。

瓦法猜想我们的姐妹宇宙具有某种扭曲的六维环面形状。瓦法和他的同事们最先提出的概念是，我们的姐妹宇宙可以通过数学家所说的轨形描述。事实上，他提出的我们的姐妹宇宙有一个轨形拓扑的假说，似乎与观测所得的数据吻合得相当好。[25]

为了将轨形可视化，我们可以设想“圆周上的360度运动”。通过常识，我们知道当我们在圆周上进行360度的运动后总会回到出发时的那点。换句话说，我们绕着五月节广场的杆子跳舞，当绕过360度后会发现自己又回到了同一点。然而，在轨形中，如果我们绕五月节的杆子移动小于360度，也能回到同一点。虽然这听起来或许很荒谬，但事实上构建这样的轨形并不难。现在，设想生活在一个锥形面上的平地居民。如果它们在圆锥体的顶点附近移动不到360度，它们就能绕回到自己的出发点。因此，轨形是一个圆锥形的高维推广（图9.3）。

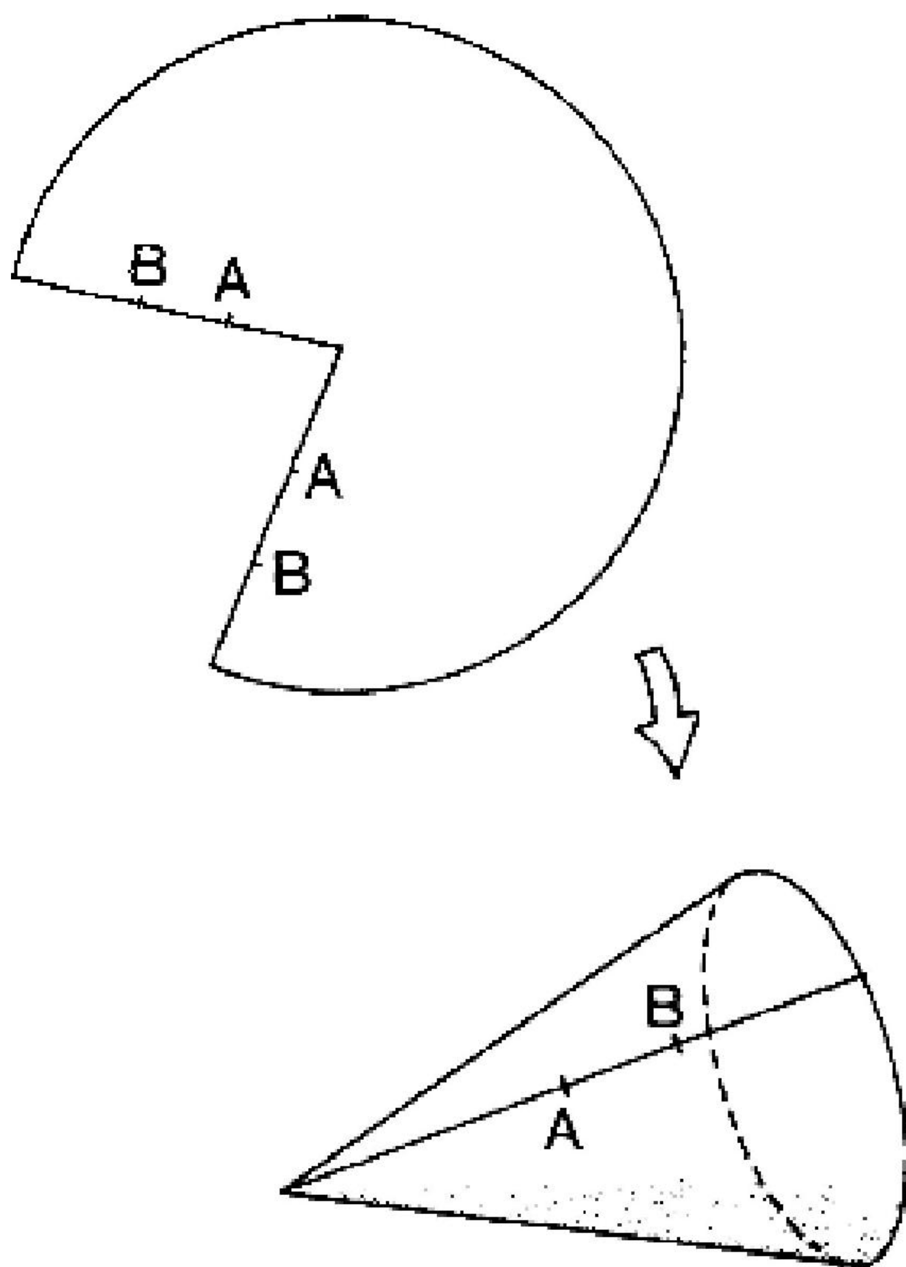


图9.3　如果分别将A点和B点连接起来，就形成了一个圆锥，它是最简单的一个轨形的例子。在弦理论中，我们的四维宇宙可能有一个六维的孪生姐妹，它具有轨形的拓扑结构。然而，这个六维宇宙太小，小到无法观察的程度。

为了感觉一下轨形，我们再设想一些平地居民生活在所谓的Z轨形上，这相当于一个正方形的豆袋的表面（如在狂欢节和乡村集市上看到的）。开始时，感觉与居住在平地上并无什么不同。然而，当他们考察这个表面时，奇怪的事情发生了。例如，一个平地居民向任何方向行走，只要走的距离足够长，他就会回到原点，就好像走了一个圈子。然而，平地居民也逐渐注意到，在他们宇宙中的某些点有些奇怪（豆袋的4个点）。绕着这4个点的任何1个点旋转180度（不是360度），又回到了出发时的同一点。

瓦法的轨形最值得注意的是，只需设置少数假设，就可以推导出夸克和其他亚原子粒子的许多特征。（正如我们在前面的介绍，因为在卡鲁扎-克莱因理论中，空间的几何结构迫使夸克具有该空间的对称性。）这使我们确信，我们行走在正确的轨道上。如果这些轨形为我们提供的均为无意义的结果，那么，我们的直觉将告诉我们，这种结构存在根本性的错误。

如果弦理论的解中没有一个包含标准模型，那么，我们必须像丢弃别的有希望但最终是错误的理论一样丢弃它。然而，物理学家非常兴奋，因为事实是，弦理论有可能得出十分接近标准模型的解。

从法国数学家庞加莱在20世纪初开创了拓扑学以来，在过去的80年里，数学家们一直在与高维空间中这些怪异表面的性质打交道。因此，十维理论能够把一大批以前看似无用的现代数学融入其中。



为什么会有三代？

尤其是，19世纪由数学家们所汇编的数学定理的丰富仓库，现在正被用来解释为什么有3个粒子家族。正如我们前面看到的，大统一理论有一个灾难性的特征是——有3个相同的夸克和轻子家族。然而，轨形理论可以解释大统一理论这个使人为难的特征[26]。

瓦法和他的同事发现了许多对弦方程有希望的解，而弦方程表现为与物理世界相似。事实上，他们用了一组非常小的假设，就重新推导出了标准模型。重新推导出标准模型是对推导大统一理论的关键一步。事实上，这既是超弦理论的优势，也是超弦理论的弱点。瓦法和他的同事们已经在某种程度上成功过头了——他们发现了弦方程的数百万个可能的解。

超弦理论面临的基本难题是：在数学上，超弦理论可以产生的百万个解中，谁是正确的？正如戴维·格罗斯所说，

> 有百万个具有3个空间维的解。可能的经典解有极大的富余……如此丰富的解原本是令人高兴的，因为它提供了诸如杂化弦这样的理论看起来酷似真实世界的证据。这些解中，除了有第4个时空维度外，还有许多其他的特性与我们的世界相近——正确类型的粒子如夸克和轻子，正确类型的交互作用。……这是两年前一个激动人心的话题。

格罗斯警告说，尽管这些解中有一些与标准模型非常接近，但其他解却产生了不良的物理性质："我们有这么多的解，却没有好的筛选方法，这非常令人尴尬。更尴尬的是，这些解除了有很多需要的性质外，还存在少数潜在的灾难性的性质。"第一次听到这个话的外行也许会不解地发问："你为什么不计算弦理论喜欢的解呢？"因为弦理论虽然是一个定义明确的理论，但物理学家们却困惑地算不出答案。

问题在于，物理学中的主要工具之一的微扰理论毫无用处。微扰理论（它逐渐增加小的量子修正）不能将十维理论分解为四维理论和六维理论。因此，我们不得不用非微扰方法。众所周知，非微扰方法是很难使用的。这就是我们不能求解弦理论的原因。如我们前面所述，由吉川和我提出，后来又被威滕进一步改进的超弦理论，目前无法用非微扰方法求解。因为缺乏足够聪明的人出现。

我曾经有一个室友，他是历史系研究生。我记得有一天他警告我，

计算机革命可能最终致使物理学家失业。“毕竟，”他说，“计算机可以计算一切，不是吗？”对他来说，数学家把所有的物理问题放到计算机里，物理学家失业只是时间问题。

我被这种说法吓了一跳，因为对一个物理学家来说，计算机不过是一台复杂的加法机，一个无可挑剔的白痴。计算机弥补了人类智力上速度的不足。但在计算之前，你必须把将这个理论输入计算机。计算机不能自行产生新的理论。

此外，计算机即使知道一个理论，有时也可能需要消耗无限的时间来求解。事实上，计算物理中所有真正有趣的问题，都需要花费大量的计算时间。这就是弦理论存在的问题。虽然瓦法和他的同事们得出数以百万计可能的解，但要从这些解中找到谁是正确的也许要消耗计算机无限长的计算时间。又或者，我们用计算机去计算量子难题的解也会出现类似情况。如我们对涉及奇异的隧穿过程求解，它是有待解决的量子现象中最为困难的现象之一。



穿越时空隧道

在最后的分析中，我们自问卡鲁扎在1919年提出的那个问题——第五维到哪去了？——除了在更高的程度。正如克莱因在1926年指出的，这个问题的答案一定与量子理论有关。也许量子理论中最令人吃惊的（复杂的）现象是隧穿效应。

例如，我现在正坐在椅子上。我的身体突然穿过靠近我墙壁的分子，在别人的客厅里不请自来地重新聚合。这种想法是一件不愉快的事，也是不可能的事。然而，量子力学提出，即使最不可能发生的奇异事件也存在一个有限的极小的概率，并将最终发生——比如某天早上一觉醒来，发现我们的床在亚马逊的丛林中。所有的事件，不管多么奇怪，都能被量子理论简化为概率问题。

这个隧穿过程听起来更像科幻小说，而不是真正的科学。然而，隧穿过程可以在实验室中得到测量，事实上，正是它解决了放射性衰变之谜。通常情况下，原子核是稳定的。原子核内的质子和中子由核力结合在一起。然而，存在一个极小的概率，原子核发生分裂。原子核分裂后，质子和中子有可能通过隧道穿越巨大的能垒，即穿越将原子核结合在一起的核力而逃逸。通常情况下，我们会说原子核必须是稳定的。但铀核确实在不该衰变时发生了衰变，这是不可否认的事实。事实上，由于原子核中的中子隧穿能垒，能量定律守恒被短暂地破坏了。

当然，这些概率对于像人类那样的大型物体来说，小到几乎为零。在已知宇宙寿命的时间内，我们穿墙过壁的概率是无穷小。因此，可以安全地假设，至少在我们的有生之年无法穿墙。同理，我们的宇宙在初始时也许是个十维宇宙，它是不稳定的。它隧穿并爆炸成一个四维宇宙和一个六维宇宙。

要理解这种隧穿的形式，想一想查利·卓别林（Charlie Chaplin）的一部电影。其中，卓别林正试图在一张特大号的床上铺床单。床单的4个角上均设有松紧带。但它太小了，卓别林不得不逐个将松紧带套在床垫的每个角上。他咧嘴一笑，满意地将床单顺利地展开到床的4个角上。由于张力太大了，一个松紧带从一个角上脱落，床单卷曲起来。他沮丧地将这处松紧带拉回到对应角上，另一个角上的松紧带又脱落开来。卓别林非常懊丧，每次他将松紧带套在一个角上，另一个角上的松紧带就被弹出并脱落。

我们将这个过程称为对称性破坏。平滑拉伸的床单具有高度的对称

性。你可以将床沿着任何一个边旋转180度，床单保持不变。这种高度对称的状态称为假真空。假真空虽然很对称，但并不稳定。床单不希望处于这种拉伸状态，它绷得太紧，能量太高。于是，一个松紧带脱落，床单卷曲起来。对称性被打破了，床单的能量降低了，对称性也降低了。现在，通过围绕床的一个边将卷曲的床单旋转180度，我们不会再得到同一张不变的床单了，因为床单的对称性遭到了破坏。

现在我们用十维时空（完全对称的时空）取代床单。在时间的开端，宇宙是完全对称的。如果那个时候有人，他可以自由地穿越十维时空中的任何维度。在那个时刻，引力、弱核力、强核力、电磁力都被超弦理论统一。所有的物质和力都是同一个弦的多重粒子的一部分。然而，这种对称性不能持久。十维宇宙虽然完全对称，但却并不稳定。它像床单一样，处于一个假真空状态。因此，穿越到低能量状态是不可避免的（向低能态的隧穿是必然的）。当隧穿最终发生时，会发生相变，同时会丢失对称性。

因为十维宇宙分裂为四维宇宙和六维宇宙，所以宇宙不再是对称的。6个维度卷曲起来，就像当一个松紧带从床垫角上弹出时，床单卷曲起来一样。但请注意，床单可以有4种卷曲方式，这取决于哪个角先脱落。然而，对十维宇宙而言，显然有成千上万的卷曲方式。为了计算十维宇宙所偏爱的状态，我们需要用相变理论来解弦场论，这是量子理论中最困难的问题。



对称性破坏

相变并不是什么新鲜事。想想我们自己的生活。盖尔·希伊（Gail Sheehy）在她的书《阶段》中强调，生活并非它平常表现出的那样是一个像梦一样的连续经验流，它实际上是通过若干阶段组成，每个阶段由特定的必须解决的冲突和必须实现的目标组成。

心理学家埃里克·埃里克森（Erik Erikson）甚至提出了一种心理发展阶段理论。每个阶段都有主要冲突表征。如果这个冲突被正确解决，我们将进入下一阶段；如果这个冲突未被得到解决，它将会恶化，甚至导致回归到早期。同样，心理学家让·皮亚杰（Jean Piaget）发现，儿童早期心理发展也并非一个简单顺利的学习过程，儿童能够概念化实际上是典型的阶段突变所致。某个月，某个孩子可能放弃了寻找滚出他视野的球。因为他不理解一个道理——即使他不再看见某个物体，某个物体或许仍然存在的道理。下个月，这个道理对孩子来说也许就显而易见了。这就是辩证法的本质。根据这个哲学，所有的物体（人、气体、宇宙本身）都经历了一系列的阶段。每个阶段的特点是两种对立力量之间的冲突。事实上，这种冲突的性质决定了这个阶段的性质。当冲突被解决时，对象进入一个称为综合推理的更高阶段。这时新的矛盾又开始了，这个过程在更高的层次重新开始。

哲学家们称之为从"量变"到"质变"的转变。微小的数量变化最终积累起来，直到与过去发生了质的决裂。这个理论同样适用于社会。在一个社会中的紧张局势可以急剧上升，如法国在18世纪末发生的事情。农民面临饥饿，自发的粮食骚乱发生了，贵族撤退到他们的堡垒中。当紧张局势达到临界点时，从量变到质变发生了阶段性转变：农民拿起武器，攻占巴黎、攻占巴士底狱。

相变也可能是突发性的事件。例如，设想河流被堵住了。大坝后的水库迅速积满了河水，水坝承受着巨大的压力。由于水库不稳定，它处于假真空状态。而事实上，水更倾向于处于真正的真空状态，这意味着它更愿意冲出水坝，冲向下游从而达到低能态。于是，可能会造成灾难性后果的决堤事件就是一种相变。

一个更具突发性的例子是原子弹。假真空对应于稳定的铀核。虽然铀核似乎是稳定的，但铀核中潜藏着巨大的、易爆炸的能量。它的爆炸效果是化学炸药的几百万倍。有时，原子核会隧穿到一个较低的能态，即核自发分裂，这被称为放射性衰变。然而，用中子轰击铀核，可能使它一次性释放出所有被禁锢的能量。当然，这就是原子弹爆炸的原理。

科学家们发现的有关相变的新特性是——相变通常伴随着对称性破坏（对称性被打破）。诺贝尔奖得主萨拉姆喜欢以下的说明：考虑一个圆形的宴会桌，出席客人的两边都放置着香槟酒杯且是对称的。我们透过镜子观看宴会桌，会看到同样的场面：所有宾客围桌而坐，每人的左右两边都有一个香槟酒杯。同理，我们如果旋转圆形宴会桌，一切布置仍然保持不变。

现在打破对称。假设第一个就餐者举起他或她右边的杯子。按照惯例，所有客人都把右边的香槟酒杯举起。请注意，镜子中的宴会桌的镜像产生了相反的情形——每个就餐的人都拿起他或她左边的杯子。因此左右对称已被打破。

对称破坏的另一个例子来自于一个古老的童话。这个童话讲述的是一个公主被限制在一个抛光水晶球顶部。虽然没有铁条将她束缚在球体上，但她却无法逃离，因为她稍微晃动下，就会从球体上滑下来摔死。无数王子试图拯救公主，但他们都没有爬上去，因为球面太光滑。这是对称破坏的一个典型案例。当公主在球体顶部时，处于完全对称的状态。球体没有优先方向。我们从任何角度旋转球体，球体均保持原状。然而，任何偏离中心的错误动作都会导致公主摔倒，从而打破对称。例如，公主倒向西面，旋转对称性就被打破了。向西的方向现在被选中。

因此，最大对称性的态，常常也是不稳定态，从而相应于假真空。真正真空状态相应于公主从球上掉下来。所以，相变（从球上掉下）相应于对称被打破（选择了向西的方向）。

说到超弦理论，物理学家们假设（但是尚未证明）原来的十维宇宙是不稳定的，它隧穿到达四维宇宙和六维宇宙。因此，原始宇宙处于假真空态，即最大对称性的态。而今天，我们处于真正的真空态。

这引发了一个令人不安的问题：如果我们的宇宙实际上不处于真正的真空态，会发生什么？如果超弦只是暂时选择了我们，而真正的真空态仍然处在几百万可能的轨形之中，会发生什么？这将产生灾难性的结果。在很多其他的轨形中，我们并未发现标准模型的存在。因此，如果真正的真空态实际上是一种标准模型不存在的态，那么，我们知道的所有的化学定律和物理定律会轰然倒塌。

如果出现这种情况，一个小小的气泡可能会突然出现在我们的宇宙中。在这个气泡中，标准模型将不能再成立，一组有别于我们认识的化学定律和物理定律将会在这里起作用。气泡内部的物质会瓦解，也许会以不同的方式重新形成。接着，这个气泡会以光的速度膨胀，吞没整个恒星系统、星系、星系群，直到吞噬整个宇宙。

我们永远也看不到它成为现实。因为它以光速传播，它将永远不会被事先观察到。我们将永远不知道是什么击中了我们。



从冰块到超弦

设想，我们厨房里的高压锅中放着一块普通的冰块。众所周知，如果我们点燃炉子，将会发生什么。但是，如果我们将炉子加热到数万亿摄氏度呢？里面的冰块会发生什么变化？

如果我们在炉子上加热冰块，它会融化为水，经历了一次相变。现在我们将水加热直到沸腾，水变为了蒸汽，它经历了又一次相变。接下来，我们将蒸汽加热到巨大的高温。最终，水分子分解了。分子的能量超过了分子的结合能，这些分子被分解为氢和氧。

现在，我们继续将它加热，直到它超过3000开。这时，氢原子和氧原子被撕裂。电子从原子核中被拉出来，我们现在有等离子体（即电离的气体），常称为物质的第四态（在气体、液体、固体之后）。虽然等离子体不是普通经验中能遇到的物质状态，但每当我们看太阳时就能看到它。事实上，等离子体是宇宙中最常见的物质状态。

现在继续将等离子体在炉子里加热到10^{9}开，直到氢和氧的原子核被分裂，我们就有了由单个质子和中子构成的“气体”，与中子星的内部相似。

如果我们进一步加热核子“气体”到10^{15}开，这些亚原子粒子会变成游离的夸克，生成夸克和轻子气体（电子和中微子）。

如果加热这个气体到10^{17}开，电磁力和弱核力将统一起来。对称性SU（2）×U（1）将会在这个温度下出现。当温度达到10^{28}开，电磁力和强核力将统一起来，大统一理论的对称性［SU（5），O（10）或E（6）］出现。

最后，在神话般的10^{32}开的温度下，引力和大统一理论力统一起来，十维超弦的所有对称性出现。我们现在利用高压锅生成了超弦气体。在这个温度下，有如此多的能量进入高压锅。时空的几何结构很可能发生了扭曲，时空的维度也发生了改变。我们厨房周围的空间很可能变得不稳定，在空间结构中可能出现了一条裂口，虫洞在厨房里产生。这时，最明智的选择是离开厨房。



大爆炸冷却

通过前面的举例描述，我们知道加热一个普通的冰块到梦幻般的温度，我们可以找回超弦。这里的经验在于，当我们对物质进行加热时，物质会经历一定的明确的发展阶段。最终，随着能量的增加，越来越多的对称性得到了恢复。

我们逆转这个过程，我们就能理解宇宙大爆炸是如何作为一个不同阶段的结果而出现。我们现在不是加热冰块，而是冷却宇宙中的超高温物质使其通过不同阶段。从创世开始，我们在宇宙在演化过程中经历了以下几个阶段：

10^{-43}秒：十维宇宙分解为四维宇宙和六维的宇宙。六维宇宙坍塌缩小到10^{-32}米大小。四维宇宙迅速膨胀，温度达到10^{32}开。

10^{-35}秒：大统一理论力分裂，强力不再联合弱电磁力相互作用。SU（3）从大统一理论对称性分裂出来。大宇宙中的一个小斑点膨胀了10^{50}倍，最终成为了我们的可见宇宙。

10^{-9}秒：温度现在是10^{15}开，弱电磁力对称性分解为SU（2）和U（1）。

10^{-3}秒：夸克开始聚合为中子和质子。温度大约是10^{14}开。

3分钟：质子和中子凝结成稳定的原子核。随机碰撞的能量不再强大到足以打破新形成的原子核。因为离子不透光，所以空间仍然是不透明的。

30万年：电子开始在原子核周围凝聚，原子开始形成。因为光不再被过多地吸收或散射，宇宙开始变得透明，外层空间开始变得黑暗。

30亿年：第一批类星体出现。

50亿年：第一批星系出现。

100亿—150亿年：太阳系诞生。此后几十亿年，生命的初始形式在地球上出现。

这看起来非常不可思议：在这样的小星系（银河系）中的小恒星（太阳）的第三个行星（地球）上的智能猿，竟然可以重建我们的宇宙史。从现在回溯到宇宙诞生的瞬间。那时宇宙的温度和压力远超现在太阳系的任何温度和压力。然而，包含弱核力相互作用、电磁力相互作用、强核力相互作用的量子理论为我们揭示了这一物理绘景。

与创世绘景一样令人吃惊的是：虫洞可以作为我们进入另一个宇宙的通道，甚至可以作为时间机器进入过去或者走向未来。借助量子引力理论，物理学家也许能够回答这些有趣的问题：平行宇宙存在吗？过去可以被改变吗？

Part III
Wormholes: Gateways to Another Universe?

第三部分
虫洞：通往另一个宇宙的关口？

10　黑洞和平行宇宙

听，在我们的隔壁就是宇宙的地狱：让我们去！

——E．E．卡明斯（E．E．Cummings）



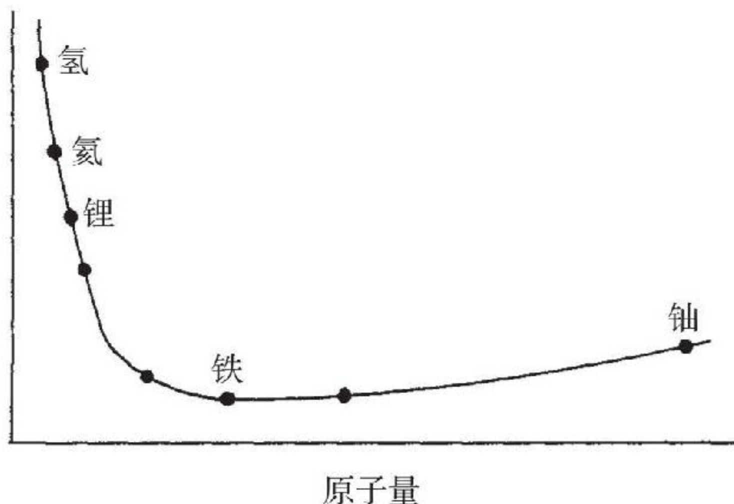
黑洞：穿越时空的隧道

近来，黑洞激起了人们的想象力。很多书籍和纪录片都致力于探索爱因斯坦方程的奇怪的预言：坍缩的恒星在它死亡过程中的最后一幕。有意思的是，大多数公众虽对黑洞耳熟能详，但对它最奇特的性质却并不清楚——黑洞可能是通往另一个宇宙的关口。此外，科学界还存在一个有趣的猜想——黑洞也许可以打开一条时间隧道。

为了进一步理解黑洞并认识找到它们有多难的问题，我们必须要了解两个问题：恒星为什么会发光？它是如何成长又是如何死亡？当一团许多倍于我们太阳系的巨大的氢云被自身的引力收缩时，一个恒星就诞生了。引力收缩气体并逐渐对气体加热，引力能逐渐转换成氢原子的动能。通常，气态氢内的质子的排斥电荷足以将它们分开。然而，在特定的条件下，当温度升高到绝对温度10^8—10^9开时，质子（氢原子核）的动能会克服静电的排斥力，质子彼此融合在一起，发生热核反应。核力取代电磁力占据主导地位，两个氢核“聚合”为氦，同时释放出巨大的能量。

换句话说，恒星就是一个核炉。它的燃料是氢，并产生废氦形式的核“灰尘”。恒星处于引力和核力的微妙平衡状态。引力倾向于将星球压缩至淹没，相反，核力倾向于以万亿个氢弹的力量将星球炸开。这时，一个恒星就成熟了，当它在核燃料消耗殆尽后开始衰亡。

要明白能量是如何从核聚变过程提取的，就要了解一个恒星演变为黑洞的生命的各个阶段。我们必须分析图10.1，这张图显示了现代科学中最重要的曲线，我们有时也将它称为结合能曲线。图中的横坐标是各个元素的原子量，从氢到铀。纵坐标，粗略地讲，是核中每个质子的近似的平均“重量”。请注意，平均来说，氢和铀质子的重量要重于图上中心部分其他元素的质子。



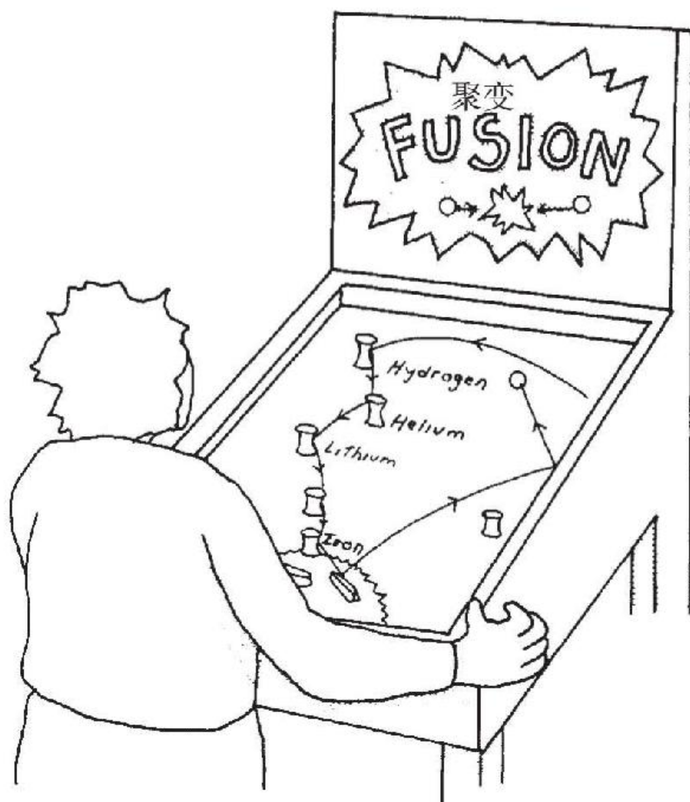


图10.1　较轻的元素（如氢、氦）的每个质子的平均“重量”相对较大。这样，当一个恒星内部的氢聚变为氦时，多余的质量就会按照爱因斯坦的方程$E = mc_2$转换成能量。就是这个能量使恒星发光。但是，当该恒星聚变出越来越重的元素时，比如铁元素，就不能再提取能量了。这时恒星将坍缩，坍缩形成的巨大热量产生一个超新星。这次巨大的爆炸将恒星撕开并播撒到星际空间，形成新的恒星。此后，这个过程又开始重复，就像弹球机那样。

我们的太阳是一个普通的黄色星球，主要由氢构成。与最初的大爆炸类似，它使氢聚变而产生氦。然而，因为氢原子中的质子比氦原子中的质子重，所以出现了一个质量的盈余。这些盈余的质量按照爱因斯坦的公式$E = mc^2$转换成能量。这个能量即是使原子核结合在一起的能量。这也是氢聚变为氦时，释放的能量。这就是太阳会发光的原因。

然而，经过几十亿年的时间，这些氢燃料会被慢慢消耗殆尽。一个黄色的恒星最终会因为产生了太多氦废料，而将燃炉关闭。此时，引力将占据主导地位（引力大于核力），并将恒星压缩得更紧。随着温度的飙升，恒星很快会热得足以燃烧废氦，并将它们转化为其他元素，如锂和碳。注意，核聚变沿着结合能曲线下降达到原子量较高的元素时，仍然可以释放出能量。也就是说，废氦可以继续燃烧，其方式与我们熟知的普通的灰在某些条件下可以继续燃烧相同。尽管现在，该恒星的尺寸已大大减小了，但它的温度仍然非常高，它的大气层的尺寸急速膨胀。事实上，当太阳耗尽了氢燃料并开始燃烧氦燃料的时候，它的大气层的尺寸将扩展到现在我们可以观测到的火星的公转轨道。我们称其为红巨星。当然，这也意味着在太阳的大气层迅速扩张的过程中，地球被蒸发掉了。因此，这条曲线也预言了地球的最终命运。我们的太阳是一个中年恒星，已存在了50亿年时间。太阳的寿命大约为100亿年，在它烧掉地球之前还有50亿年的生命。（有趣的是，地球原本与太阳产生于同一团转动的气体云，而物理学家现在预言——和太阳一起被造就的地球终有一天会回到太阳中去。）

最后，当氦燃料也消耗殆尽，核燃炉将会熄灭。引力再次占据压倒性优势，将恒星向内压缩。红巨星将坍缩成为一个白矮星，即一个全部质量被压缩为地球那么大的一个小小的恒星。[27]白矮星并不十分明亮，因为在下降到结合能曲线的底部后，它通过爱因斯坦方程$E = mc^2$只能吸取很少部分的剩余能量。

我们的太阳最终将成为白矮星，并在几十亿年的时间中用尽它的核燃料，而渐渐死亡。最后，它会变为暗色的、烧光了的矮星。然而，人们相信，如果恒星的质量足够大且为太阳的几倍，那么白矮星中的大多数元素将继续聚合为越来越重的元素，最后到达铁元素。一旦到了铁元素，就靠近了曲线的最底部。这也就意味着我们就不再从剩余的质量中提取能量了。这时候的核炉彻底关闭了。引力成为主导，将恒星压缩，星体的温度爆炸性上升几千倍，达到上万亿度。此时，白矮星的铁核坍缩，白矮星的外层被炸毁，同时释放出星系中已知的最巨大的爆发能量，成为一个被称为超新星的爆炸恒星。一个超新星爆发时的亮度足以超过银河系上千亿颗恒星的整体亮度。

超新星爆发后会留下一个完全死亡了的星球——中子星，它只有曼哈顿那么大小。中子星的密度非常大，粗略地讲，所有的中子都互相“紧挨”着挤在一起。尽管中子星几乎不可见，但我们仍然可以用仪器探测到它们。旋转的中子星会发出某些放射线，它们的作用就像外空间的宇宙灯塔一样。我们看到的将是一个闪烁的星，也称脉冲星。（也许这个结

果听起来具有太强的科幻特色，但事实是，自1967年首次发现以来，人类已经观测到400多个脉冲星。）

计算机模拟显示，大多数比铁元素重的元素都可以在超新星的高温和压力下合成。当恒星爆炸时，它将大量的由重元素组成的残骸扩散到真空中。这些残骸最终与其他气体混合，直到聚集起足够多的氢，则重新开始一次新的引力坍缩过程。从这个恒星气体诞生的第二代恒星和尘埃含有丰富的重元素。其中一些恒星（像我们的太阳）会有行星环绕，而环绕这些恒星的行星也同样含有这些重元素。

这就解开了宇宙学中一个由来已久的不解之谜。我们的身体中含有比铁还重的重元素，但太阳的温度并不能高到可以产生它们。如果地球和我们身体的原子源于同一个气体云，那么，我们身体里的重元素是从何而来？结论是不可避免也不能回避的：我们身体里的重元素来自于我们的太阳诞生之前，在一个爆炸的超新星中合成的。换言之，一个不知名的超新星在数十亿年前发生爆炸，播下了创造我们太阳系的原始气体云。

一个星球的演变大致可以用一个如图10.1所示的弹球机和结合能曲线的形状描述。小球开始时在弹球机的顶部，从氢跳到氦，从较轻的元素跳到较重的元素。它沿着这条曲线每跳动一次，就会成为一个不同类型的星。最后，小球跳到曲线的底部元素铁所在的地方，并在超新星中爆炸性喷出。

喷射出的星际物质与混合气体聚集到一个富含氢的新星中产生二代恒星，这一过程又在弹球机上再次重演。

这里我们需要注意，弹球有两条路径可以跳到曲线底部。除了前面讲述的外，它还可以在曲线的另一边开始，从铀开始，通过铀元素核裂变为碎片，一次性跳到曲线底部（铁）。由于核裂变的产物（铯和钾）中的质子的平均重量小于铀中的质子的平均重量，剩余的质量通过公式$E = mc2$被转化为能量。这就是原子弹背后的能量来源。

因此，结合能曲线不仅解释了恒星的生死和元素的产生，它还使原子弹和氢弹的存在成为可能！（科学家经常被问到，是否有可能研制原子弹和氢弹以外的核弹。从结合能曲线可以看出，答案是否定的。结合能曲线排除了氧或铁制成炸弹的可能性。因为这些元素靠近曲线的底部，缺乏足够数量的多余质量用以制造炸弹。媒体也曾提到过一些其他的炸弹，如中子弹。实际上，中子弹只是铀弹和氢弹的变种。）

当人们第一次听到恒星的生命史时，也许会持怀疑态度。的确，没有人能存活100亿年，无法见证恒星生命的演化。然而，天空中存在数不清的恒星，我们可以通过它们很容易地观察到恒星演化过程中不同阶段留下的产物。（例如，1987年的超新星爆发，处于地球南半球上的人们几乎用肉眼就能看到。人们得到的珍贵的、丰富的天文数据与正在坍

缩的带铁核的白矮星的理论预言完全吻合。再有，1054年7月4日，中国的古代天文学家曾观察到一个壮观的超新星，它留下的残骸目前已被确定为中子星。）

此外，我们的计算机程序已经精确到可以完全在数值上预言恒星演化的历程。我在主修天文学时，曾有一个研究生室友。他总是在清晨消失，深夜而归。他每次临走之前，都会说，“它将一个恒星放在炉子上，看它如何成长”。起初，我认为他是开玩笑。然而，当我认真追问时，他谨慎地告诉我，“他在白天将一个恒星放入计算机里，观察它如何演化。由于热力学方程和聚合方程均为已知，他只需告诉计算机，‘从一个特定质量的氢气团开始，用数值求解这种气体的演化’。”通过这种方式，我们可以使恒星演化理论可视化。它等同于我们用天文望远镜从天空中捕捉到恒星生命演变的每一个阶段。



黑洞

如果一个恒星的尺寸大小是我们太阳的10—50倍，即便它成为了中子星，引力仍然会继续压缩它。没有聚变力来抵抗引力的拉拽，就无法阻止这个恒星的最终坍缩。这时，它就成为了著名的黑洞。

从某种意义上说，黑洞必须存在。我们回忆，一个恒星是两种宇宙力的副产品：引力试图将恒星收缩，而核聚变试图像氢弹那样将恒星炸开。恒星生命史中的各个阶段都是引力与核聚变之间微妙平衡的结果。或迟或早，当一个大质量恒星的核燃料燃烧殆尽后，将变为一团纯粹的中子。这时，它没有任何力量可以抵抗强大的引力。引力将中子星压缩粉碎进入虚无。这样，恒星就完成了它的生命循环：恒星生于引力开始压缩天空中的一团氢气之时，死于核燃料用完之后引力使它坍缩之际。

黑洞的密度非常大，以至于光将被迫环绕它的轨道偏转，就像我们从地球上发射的火箭。因为没有光可以从这个巨大的引力场中逃离出来，所以坍缩的恒星变成了黑色。事实上，这就是黑洞的通常定义，一个连光也无法逃脱的坍缩恒星。

为了理解这一点，我们注意到，所有的天体都有一个所谓的逃逸速度。逃逸速度，即永久逃离这个物体引力所必须的速度。例如，太空探测器必须达到每小时25000英里（40000公里）的逃逸速度才能摆脱地球的引力进入深空。如：我们的太空探测器“旅行者”号（携带着善意的消息给有幸捡到它们的外星人）已达到了太阳的逃逸速度，成功逃离了太阳系并进入了外太空。（事实上，我们能呼吸到氧气是因为氧原子还缺乏足够的速度逃离地球的引力场。木星和其他气体巨星之所以主要由氢组成，是因为这些星体的逃逸速度太大，大到足以捕捉早期太阳系的原始氢气。因此，逃逸速度帮助我们解释了过去50亿年来太阳系中行星的演化。）

牛顿引力理论，事实上给出了逃逸速度与恒星质量之间的精确关系。行星、恒星越重或半径越小，其逃逸引力所需的逃逸速度越大。早在1783年初，英国天文学家约翰·米歇尔（John Michell）用这个公式计算提出，一个超大质量的恒星可能会有一个等于光速的逃逸速度。这样一个超大质量的恒星发出的光绝不能逃逸，但可以环绕恒星旋转。对一个外部观测者来说，这个恒星将是完全黑色的。他利用18世纪所知的最好的知识对黑洞的质量进行了计算。（他在《皇家学会哲学学报》上写道，“如果存在一个球体，它与太阳密度相同，它的半径是太阳半径的500倍。一个物体从无限高度向它下落，在它的表面会获得比光速还大

的速度。因此，假定光和其他物体一样被正比于惯性的力所吸引，那么，从这个物体发出的所有的光由于自身的引力将被吸收回来”。）不幸的是，他的理论被认为是疯狂的，很快被人们遗忘。然而，今天的人们倾向于相信黑洞是存在的，因为天文望远镜和各种仪器已在天空中看到白矮星和中子星。

有两种方法可以解释黑洞为什么是黑色的。从乏味的观点看，恒星与光之间的“力”是如此之大，以致使光的路径被弯曲成了一个圆。从爱因斯坦的观点来看，他说，“两点之间的最短距离是一条曲线”。将一束光弯曲成一个整圆，意味着空间本身已被弯曲成一个整圆。这种情况只可能发生在黑洞将一片时空完全挤压在它的周围之时，此时光束在一个超球面上绕圈。这片时空已经从它周围的时空分离了出来。空间本身被“撕裂”。



爱因斯坦-罗森桥

黑洞的相对论描述源于卡尔·史瓦西（Karl Schwarzschild）的著作。1916年，仅仅在爱因斯坦写下了他著名的方程数月之后，史瓦西能够精确求解爱因斯坦方程并计算一个巨大质量的静止星球的引力场。

史瓦西解有几个有趣的特点。第一，围绕黑洞有一个“不归点”。任何物体进入这个半径都会不可避免地被吸进黑洞，没有逃脱的可能。斗转星移，任何人只要走进史瓦西半径内也会无情地被黑洞俘获，压碎至死。今天，我们将这个逃离黑洞的距离称为史瓦西半径，也称为视界（最远的可见点）。

第二，任何一个落入史瓦西半径以内的人都会在“时空的另一面”看到一个“镜像宇宙”（图10.2）。爱因斯坦并不担心这个离奇的镜像宇宙的存在，因为我们无法与它取得通信。任何被送到黑洞中心的空间探测器都会遇到无穷大的曲率，即引力场变得无穷大，任何材料的物体都将被压碎。电子将从原子中脱离出来，甚至原子核内部的质子和中子本身也会被撕裂。此外，要穿透到另一个宇宙，探测器的速度必须高于光速，这似乎不太可能。因此，尽管这一镜像宇宙在数学上有其必要性，它使得史瓦西解有意义，但它在物理上却决不会被观察到。

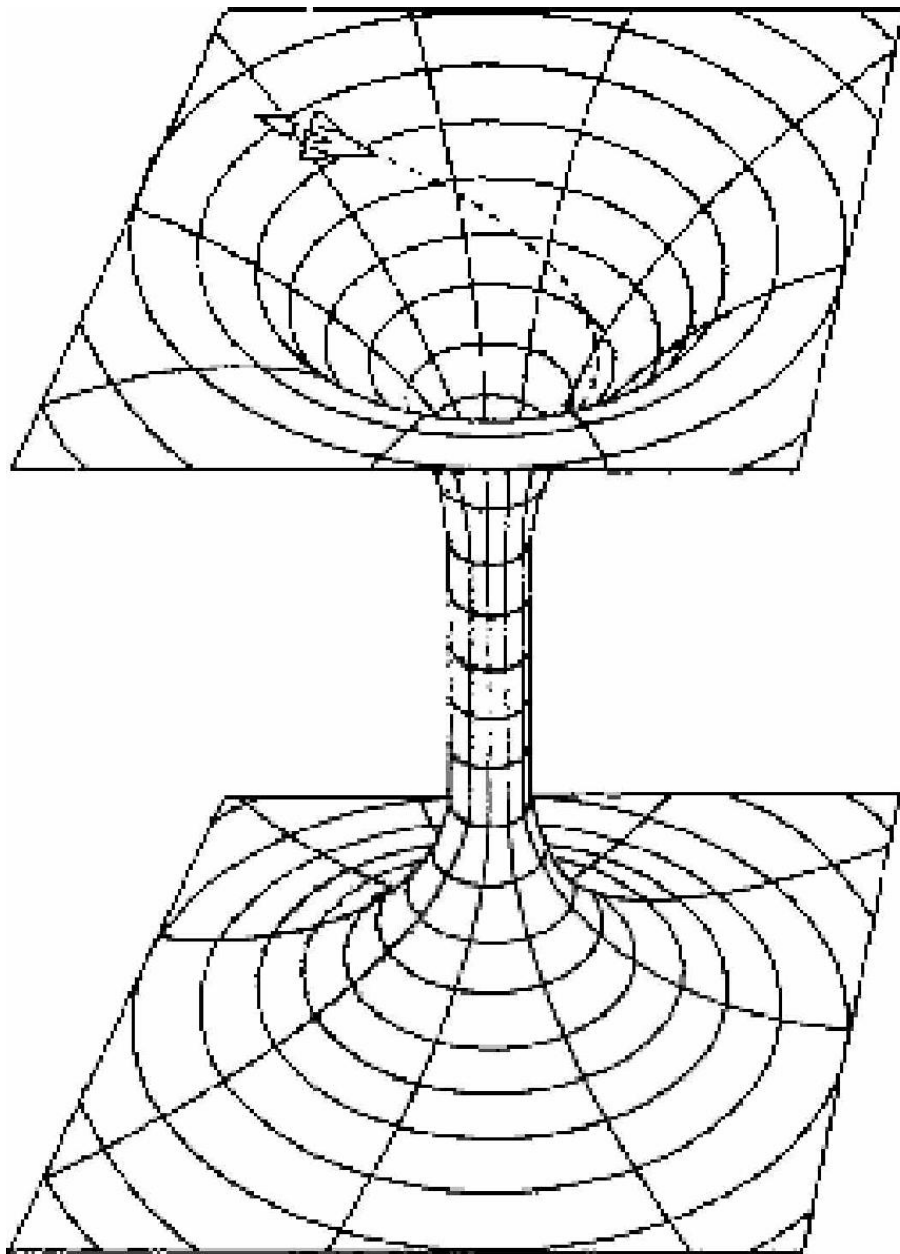


图10.2　爱因斯坦-罗森桥连接两个不同的宇宙。爱因斯坦认为，任何进入桥中的火箭都将被压碎，因此两个宇宙之间的通讯决无可能。然而，最近的计算表明，穿过这个桥或许会非常困难，但并非没有可能性。

因此，连接这两个宇宙的著名的爱因斯坦-罗森桥（以爱因斯坦和他的合作者纳森·罗森命名）被认为是一个数学上的技巧。必须有这个桥才能有一个在数学上自洽的黑洞理论，但试图希望穿过爱因斯坦-罗森桥到达镜像宇宙是不可能的。很快，在引力场方程的其他解中，如描述一个带电的赖斯纳-诺德斯特龙（Reissner-Nordstrom）解，也找到了爱因斯

坦-罗森桥。然而，爱因斯坦-罗森桥仅作为相对论知识中的一个脚注被人们遗忘。

随着新西兰数学家罗伊·克尔（Roy Kerr）的工作推进，事情开始发生改观。他在1963年找到了爱因斯坦方程的另一个精确解。克尔假设，所有坍缩的恒星都会旋转。一个自旋转的溜冰者，将手收起来会大大加快自己的自旋速度。同理，一个自旋转的正在坍缩的恒星，当它开始向内收缩时自旋速度将得到快速提升。于是，描述黑洞的静态史瓦西解，并非爱因斯坦方程最实际的贴切解。

克尔解的提出在相对论领域产生了轰动。天体物理学家苏布拉马尼扬·钱德拉塞卡（Subrahmanyan Chandrasekhar）曾说，

> 在我历经的45年的整个科学生涯中，令我最震惊的体验是意识到新西兰数学家克尔发现的爱因斯坦方程的一个精确解。它给出了散布宇宙中的不计其数的大质量黑洞的绝对精确的表述。这是个“美得让人震颤”、“令人难以置信”的事实。这是一个在数学中以追求美为动力的发现，且在自然中找到精确摹写的典型案例。不得不说，人的心智对美有着深远层次的感悟。

然而，克尔发现一个大质量的旋转的恒星并不会坍缩成一个点。相反，这个旋转的恒星会逐渐变得扁平，直到最终被压缩成一个具有有趣性质的环。如果探测器从侧面发射到黑洞中，它就会碰到环并被彻底摧毁。因为从侧面接近这个环时，时空的曲率仍然是无限大。可以说，围绕黑洞中心仍有一个“死亡之环”。如果探测器从顶部或底部发射到环中，它会遇到一个很大但却有限的曲率，也就是说，引力并非无穷大。

从克尔的解中得出的这个令人吃惊的结论意味着——空间探测器沿着旋转轴的方向（即环的垂直方向）通过一个旋转的黑洞在理论上是可能的。

它可以在黑洞中心的巨大但却有限的引力场中存活下来，径直地通向镜像宇宙而不会被无限曲率摧毁。爱因斯坦-罗森桥形同一个连通两个时空域的隧道——虫洞。因此，克尔黑洞就是通往另一个宇宙的关口。

现在，试想一下，你乘坐的火箭已进入爱因斯坦-罗森桥。当你的火箭接近自转的黑洞时，看到了一个环形旋转的恒星。一开始，当火箭从北极向黑洞下落时，似乎要发生灾难性的坠毁事件。然而，当我们接近环时，从镜像宇宙发出的光到达我们的传感器。由于所有的电磁辐射都绕着黑洞旋转，所以我们的雷达屏幕上探测到的也是绕黑洞旋转的信号。这种效应类似于在一个挂满镜子的大厅里，我们站在大厅中心被众多的镜像迷惑。光在众多的镜子间反射，使我们产生了错觉：在大厅中有无数个自己。

我们通过克尔黑洞时，也发生了同样的效应。因为同一束光绕着黑洞转了很多圈，我们火箭上的雷达检测到的是那些绕着黑洞转的图像，

因而产生了并不存在于那儿的物体的幻象。



弯曲系数5

这是否意味着黑洞可以用于整个星系的旅行，如《星际迷航》和其他科幻电影中所描述的那样？

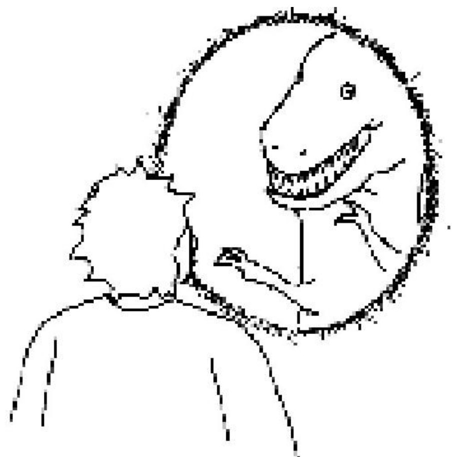
正如我们前面看到的，空间曲率的大小是由该空间包含的物质-能量的数额确定的（马赫原理）。爱因斯坦著名的方程为我们提供了由物质-能量的存在引起的时空弯曲的精确程度。

当柯克（Kirk）船长带领我们以“弯曲系数5”翱翔在超空间时，为“企业”号提供能源的“双锂晶体”必须显示弯曲时间和空间卓越的技艺。这意味着双锂晶体具有将时空连续统卷成油炸圈的神奇力量。也就是说，它们（双锂晶体）是巨大的物质和能量仓库。

如果“企业”号要从地球旅行到除太阳以外距离我们最近的一个恒星（半人马座阿尔法星）上去，它并非真正移动到了半人马座阿尔法星。相反，实际情况是，半人马座阿尔法星向“企业”号靠拢。试想坐在地毯上用套索拉着几英尺远的一个桌子。如果我们用足够大的力拉动套索且地板足够光滑，我们可以拉着套索直到下面的地毯开始折叠。如果我们使劲拉套索，桌子就会跑到我们面前。桌子和我们之间的“距离”消失为一堆皱巴巴的地毯。然后，我们简单地跳过这个“翘曲的地毯”。换句话说，我们并未移动，但我们和桌子间的空间收缩了，我们只是跨过了这个收缩后的距离。同理，“企业”号并非真正跨过了从地球到半人马座阿尔法星的整个空间，它只是通过一个虫洞跨过了收缩的时空（皱起的空间）。为了更好地理解一个人落到爱因斯坦-罗森桥都发生了些什么，我们接下来讨论虫洞的拓扑。

为使这些多连通空间形象化，想象一下，我们在一个阳光明媚的下午漫步于纽约第五大道。我们正想着自己的事情，这时，一扇奇怪的飘浮的窗户在我们面前打开，就像爱丽丝的瞭望镜。（此刻，我们不必在意打开这个窗户所需的巨大能量。仅是作为一个纯粹的假想例子。）

我们走近盘旋的窗户仔细观察，会发现我们正盯着一只恶心的霸王龙的头。正当我们要逃命时，我们注意到这只霸王龙没有身体。它不能伤害我们，因为它的整个身体处于这扇窗户的另一面。当我们顺着窗户向下看希望找到恐龙的身体时，我们可以看到整个街道，好像这里根本就不存在恐龙和窗户。我们大惑不解，慢慢地绕窗户转圈，发现霸王龙已不知去向。当我们绕到窗户的背面向内观望时，我们看到了一只雷龙正盯住我们（图10.3）！



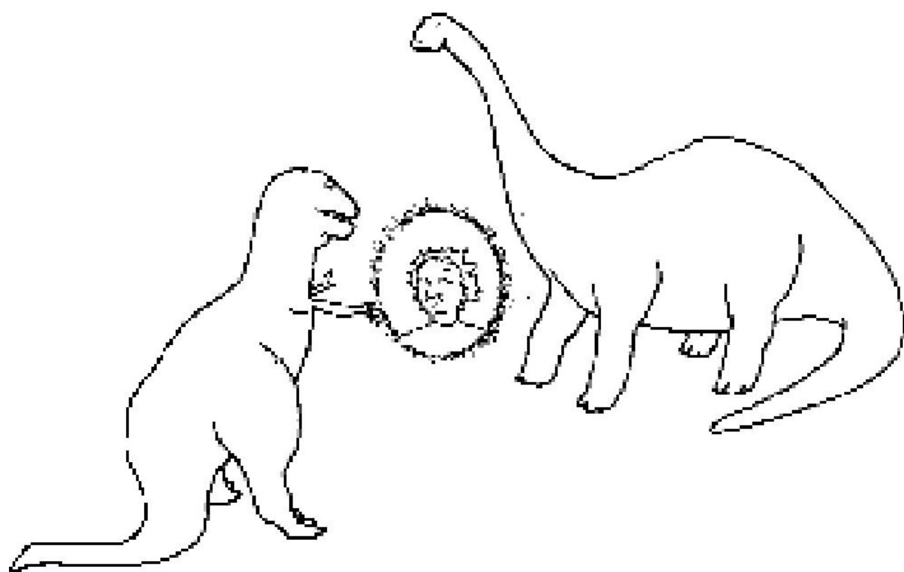


图10.3　在这个纯粹假想的例子中，一个“窗户”或虫洞在我们的宇宙中打开。如果从窗户的正面向内观看，我们会看见一只恐龙；如果绕到窗户的背面望向窗户，我们会看见另一只恐龙。在其它宇宙看来，这两个恐龙之间打开了一扇窗户。通过这个窗户，两只恐龙看见了一个奇怪的小动物（我们）。

我们害怕地再次绕着窗户转圈，当我们走到窗户的侧面时，奇怪的现象发生了——窗户及所有的恐龙都失踪了。我们反复这样的实验——绕着飘浮的窗户再走几圈。从一个方向看向窗户，我们看到了霸王龙的头；从侧面看向窗户（绕行90度），我们发现镜子和恐龙消失了；从另一个方向看向窗户（继续绕行90度），我们看到了雷龙的头。

这是怎么回事？

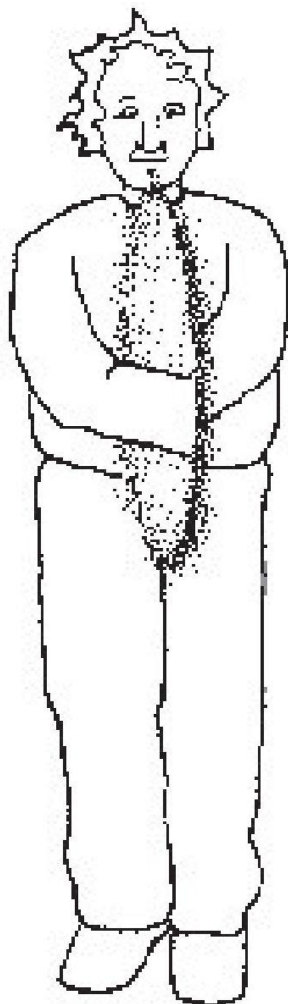
在某个遥远的宇宙中，霸王龙和雷龙在生死关头摆出决斗的架势。在它们面对面时，一个飘浮的窗户忽然在它们面前出现。当霸王龙窥视

飘浮的镜子时，它吃惊地看到一只瘦得皮包骨头的哺乳动物。这个哺乳动物有着卷曲的头发和小脸（一个人），哺乳动物的头清楚可见但却没有身体。当雷龙从另一个方向看向这个窗户时，它看见了纽约的第五大街，这里有很多商店和车辆。再后来，霸王龙发现窗户中出现的这个哺乳动物消失了，这个哺乳动物出现在了窗户面对着雷龙的那一面。

现在，假设有一阵风将我们的帽子吹进了窗户。我们看见这个帽子飞到了另一个宇宙的天空中。我们沿着第五大街苦苦寻找毫无结果。无奈之下，我们绝望地将手伸进窗户希望取回自己的帽子。在霸王龙看来，一个不知从哪儿来的帽子从窗户中吹出来了，之后，它看见一个没有身体的手从窗户里伸出来，绝望地摸索这顶帽子。

这时，风改变了方向，将帽子吹向了另一个方向。我们将另一只手伸进窗户，但伸向的是另一个方向。我们现在所处的境况非常尴尬。我们的两只手从不同的方向伸进了窗户，但我们却不能看到我们的手指，两只手好像都消失了。

这在恐龙看来又是什么呢？会出现什么样的场面呢？恐龙会看见两只摆动的小手吊在窗户的两边，但却看不见身体（图10.4）。



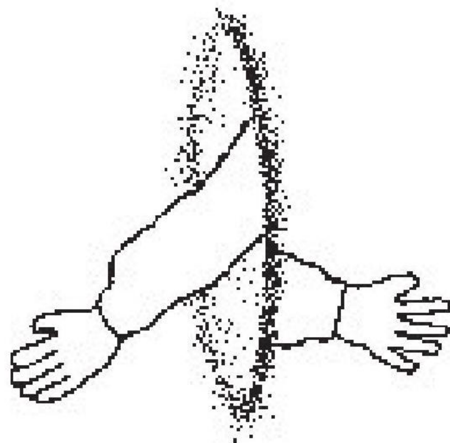


图10.4　如果我们将两只手从两个不同的方向伸进窗户，那么，看起来好像我们的两只手都消失了。在我们的宇宙中，我们有身体却没有手。在另一个宇宙中，两只手从窗户的两侧出现，但却没有我们的身体。

这个例子说明用多连通空间可以虚构某些微妙的时空扭曲。



关闭虫洞

值得思考的是，这样一个简单的构想——更高的维度可以统一空间和时间，且“力”可以通过时空弯曲来解释——会导致如此多样性的物理结果。然而，借助于虫洞和多连通空间，我们探索了爱因斯坦广义相对论的极限。事实上，创建虫洞或维度通道所需的物质-能量异常巨大。因此，我们期待量子效应成为主导。量子修正则能在实际上关闭虫洞开口，从而关闭通道旅游的可能性。

由于量子理论和相对论都不足以独立解决这个问题，我们不得不等待十维理论的完成，才能决定这些虫洞在物理上是合理的还是疯狂的臆想。但在我们讨论量子修正和十维理论之前，我们先停下来思考一下虫洞的最奇怪的效应——物理学家可以证明虫洞允许多连通空间，我们也能证明虫洞允许时间旅行。

下面，让我们来考虑这个多连通宇宙最迷人、最玄妙的结果——建造一个时间机器。

11 建造时间机器

我们这些相信物理学的人都知道：过去、现在和未来之间的区别只是一种固执的假象。

——阿尔伯特·爱因斯坦



时间旅行

在时间上我们能倒退吗？

像赫伯特·乔治·威尔斯（H．G．Wells）的小说《时间机器》里的主人公一样，我们能拨动机器上的指针，跨越数十万年到802701年吗？或者像米迦勒·J．福克斯（Michael J．Fox）那样搭乘钚燃料发射车去往未来吗？

如果时间旅行是可能的，那么，整个广阔的世界将充满各种各样可能发生的非常有意思的事情。正如凯思琳·特纳（Kathleen Turner）的小说《帕格尔斯·苏结婚了》中所描述的那样，每个人都在私下里许了一个心愿——设法回到过去，纠正自己在生活中犯下的某些小的但却是至关重要的错误。在罗伯特·弗罗斯特（Robert Frost）的诗《没有走过的路》中，我们非常希望知道，如果我们在生活中选择了不同于以往的另一条路径，会发生什么。有了时间旅行，我们就能回到年轻的时候，去纠正那些过去发生过的令人尴尬的事情。我们可以选择不同的伴侣，或从事不同的事业；甚至可以改变关键时刻的重要历史事件的结果，或改变人类的命运。

例如，在电影《超人》的剧情高潮中，我们的英雄在情感上被彻底摧毁了。当地震将大部分加利福尼亚地区毁坏，并将他的爱人压在几百吨的岩石和碎片之下。他为妻子可怕的死亡而哀悼，难以抑制心中的痛苦。他飞入太空，违背了不干预人类历史的誓言。他不断加快自己的速度，直到超越光速，从而破坏了时间和空间的结构。他以光的速度旅行，迫使时间慢下来并最终停止，最后回到露意丝·连恩（Lois Lane）被岩石碾死之前。

但是，这一招显然是不现实的。虽然速度的增加可以减慢时间，但你不可能加速到比光速还快的速度，也就不能使时间逆转。其原因是，根据狭义相对论原理，当你加速到无限大速度的时候你的质量也会变得无限大。因此，大部分科幻小说作家偏爱的超光速旅行方式与狭义相对论矛盾。

爱因斯坦非常明白这是不现实的。A．H．R．布勒（A．H．R．Buller）也充分意识到了这点，他在《笨拙》杂志上发表了以下打油诗：

有一个叫布莱特的年轻姑娘，

她的速度比光速还快。
她旅行了一天，
以相对论方式，
回到了前一天的晚上。

大多数的科学家都没有认真研究爱因斯坦的方程，他们将时间旅行当做一派胡言，并将其与“外星人绑架那样的骇人听闻的报道”相提并论。然而，实际上这个事情相当复杂。

为了解决这个问题，我们必须暂时放弃狭义相对论这一较为简单的理论，继而拥抱更强大的也许能允许时间旅行的广义相对论。广义相对论比狭义相对论具有更广泛的有效性。狭义相对论描述那些远离恒星的以恒定速度运动的物体；广义相对论更强大，它能描述靠近超大质量恒星和黑洞时的火箭的加速。因此，广义相对论取代了狭义相对论的一些简单的结论。对于任何一位在爱因斯坦广义相对论框架内认真地对时间旅行作过数学分析的物理学家来说，最终结论都是令人震惊的。但他们对“时间旅行是否可能”这个问题却远没有搞清楚。

支持时间旅行观点的科学家指出，爱因斯坦的广义相对论确实允许某种形式的时间旅行。但他们也承认，将时间弯曲成一个圆需要一个无穷大的能量，因此，爱因斯坦的方程失灵了。当时间旅行变得非常可能且在物理学上存在于相当有意思的区域内，量子理论将会取代广义相对论。

我们记得，爱因斯坦的方程指出时空曲率或时空弯曲是由宇宙中的物质-能量的含量所决定。事实上，可以找到足够强大的物质-能量来迫使时间弯曲并允许时间旅行。然而，使时间弯曲到倒退所必需的物质-能量的力度是非常大的，以至于广义相对论被打破，量子修正开始主宰相对论。因此，时间旅行的最终判决不能在爱因斯坦方程的框架内回答。在巨大的引力场中，爱因斯坦方程失灵，在这里，我们期待量子理论成为主导。

这正是超空间理论可以解决的问题——量子理论和爱因斯坦的引力理论在十维空间中将得到统一。我们预计，时间旅行问题将由超空间理论明确解决。至于虫洞和多维窗口，我们将把它放在最后一章集中讨论，同时总结超空间理论能发挥的全部作用。

现在，我们为大家讲述围绕时间旅行所发生的一些争论，以及那些不可避免地产生的有趣的悖论。



因果关系的崩溃

科幻小说家总希望知道，一个人在时间中逆行，回到过去是一种什么景象。一些小说中的故事，从表面上看是合理的也是可能的。但仔细思考，如果时间机器像汽车那样普及，我们的世界可以随处购买，那将是一种多么混乱的场面。科学浩劫即将来临，它会撕裂我们现有的宇宙结构。数以百万计的人可以回到过去，重写历史。一些人甚至带着枪械回到过去，欲在他们的敌人出生之前就干掉这些敌人的父母。因此，在这样的条件下，即便是进行最简单的人口普查，也开始变得困难且不具有现实性。

如果时间旅行是可能的，那么，因果律就会遭到破坏。事实上，我们所认知的全部历史也将发生崩溃。想象一下，成千上万的人回到过去，他们改变了那些影响历史进程的关键事件，将会引起什么样的混乱。或许，突然地，福特剧院的听众中就挤满了来自未来的比他们晚到的争吵者。这些晚到的未来人互相争夺，都希望自己能获得阻止林肯总统被暗杀的殊荣。或许，数以千计的来自未来的人为了追求刺激而来到诺曼底登陆处拍照，从而导致诺曼底登陆计划因为泄密而失败。

历史上的重大战役，可以超越原先的既定结果而被迫修改。试想公元前331年发生的高加米拉战役。当时，亚历山大大帝战胜了大流士三世领导的波斯人，从而取得了决定性的胜利。这场战争导致了波斯统治的彻底崩溃，结束了他们与欧美地区的对抗形式，使得西方文明和文化在未来的1000年里在世界范围内蓬勃发展。现在，我们假设有一小队今天的雇佣兵带着现代的火炮和小型火箭进入古代战场，将会带来什么样的结果？即便最微弱的现代火力也能将亚历山大的那些惊恐的士兵轻易击溃。这种对过去历史的干涉将会削弱西方文明和文化在世界范围上的扩张。

时间旅行意味着任何历史事件都没有结尾，人们可以随时回到过去修改历史。历史著作将永远无法写就。时间也许会永久停留在20世纪30年代，一些顽固分子总是企图回到过去，刺杀尤利西斯·S．格兰特将军（Ulysses S．Grant）或想办法将原子弹的秘密送给德国人。

如果历史可以像擦黑板那样随便重写，会发生什么呢？我们的过去会变得如海边移动的沙子，不断被微风吹向这边或那边。每当有人拨动时间机器上的转盘，并错误地将自己的时间方向逆转，我们的历史将会不断改变。正如我们前面所讲述的，历史将不复存在。

大多数科学家显然不喜欢这种令人不快的可能性。历史学家更是无法接受，每当我们进入过去或未来时，历史存在的意义就产生了动摇，矛盾不可避免。事实上，宇宙学家史蒂芬·霍金（Stephen Hawking）已使用“实验”证据证明了时间旅行是不可能的。他提出，到目前为止，我们尚未受到过来自未来世界的旅行者的入侵就是证明时间旅行是不可能的最好证据。



时间悖论

要弄明白时间旅行的问题，首先需要将各种悖论进行分类。一般情况下，大多数悖论可以被划分为两种基本类型：

1．在你出生之前会见你的父母

2．没有过去的人（你没有过去）

第一种时间旅行对时空结构造成了较大程度的伤害，因为它改变了原先记录事件的先后顺序。例如，在《回到未来》一书中，故事中的年轻英雄回到过去，与他的母亲相遇。他的母亲当时是一个年轻的女孩，在那时还未爱上他的父亲。主人公震惊并沮丧地发现，他无意中阻止了自己父母之间决定命运的相会。更糟糕的是，他年轻的母亲已满含深情地被他吸引！如果，他不经意地阻止了他父母的相爱，且无法将他母亲错位的感情纠正，他将会消失——因为这样的话，他将无法出生。

第二种悖论涉及的事件没有开始。例如，一位贫困的、苦苦挣扎的发明家试图在他杂乱的地下室建造出世界上第一台时间机器。不知从哪儿来了一个富有的老绅士，为他提供了充足的资金、复杂的方程式和电路以支持他制造时间机器。在随后的时间，这位发明家发财了。因为他掌握了时间旅行的知识，可以精确地知道股票市场何时繁荣何时萧条。他在股票市场、赛马会以及其他活动上下赌注，创造了巨额财富。几十年后，作为一个富有的年老的人，他及时地返回到过去履行自己的使命。他遇上了他自己——一位在他的地下室中工作的年轻人。他将有关时间旅行的秘密告诉了年轻的自己，并为年轻人提供了充足的金钱。故此，循环下去。问题是：时间旅行的想法来自何处？

第二种悖论的最疯狂之处或许来源于罗伯特·海茵莱茵（Robert Heinlein）的短篇小说《你们都是僵尸》。

1945年，一个小女孩被神秘地送到在克利夫兰的一家孤儿院。“简”在孤独和沮丧中成长，她不知道自己的父母是谁。直到1963年的一天，她奇遇了一个流浪者，被他吸引且深深地爱上了他。当一切事情似乎都开始好转的时候，一系列的灾难发生了。首先，流浪者致使她怀孕，然后消失了。其次，在复杂的分娩过程中，医生发现她有两套性器官。为拯救她的生命，医生通过手术将“她”变成了“他”。最后，一个神秘又充满诱惑力的陌生人从产房拐走了她的孩子。

由于受到这些灾难的打击、社会的排斥以及命运的捉弄，“他”变成了一个酒鬼和流浪汉。简失去了父母、情人，以及唯一的孩子。多年后的1970年，简跌跌撞撞地进了一个名为“大众”的酒吧，向一位上了年纪的酒保讲述了自己可怜的故事。有着同情心的酒保为流浪者提供了一个机会去报复让她怀孕又将其抛弃的情人，方法是加入“时间旅行团”。他们一起进入了一个时间机器，酒保让流浪者回到了1963年。奇怪的事情发生了——流浪者爱上了一个年轻的父母双亡的女子，并让她怀上了身孕。

酒保继续向前走了9个月，将女婴从医院里偷出来，并驶回到1945年将婴儿送进孤儿院。之后，再把彻底糊涂的流浪者送回1985年，加入时间旅行团。最后，他将自己装扮成一个酒保，担负起一个困难的使命：1970年在大众酒吧与某个流浪者会面。

问题是：谁是简的母亲、父亲、祖父、祖母、儿子、女儿、孙女和孙子？当然，女孩、流浪汉、酒保，都是同一个人。这些矛盾可以让你头昏脑涨，尤其是试图解开简交织的亲子关系。如果画一张简的家谱，我们会发现所有的树枝都向内卷曲回到了简自身，就像一个圆圈。我们得出了惊人的结论：她是自己的母亲，也是自己的父亲！她自身就是一个完整的家谱。



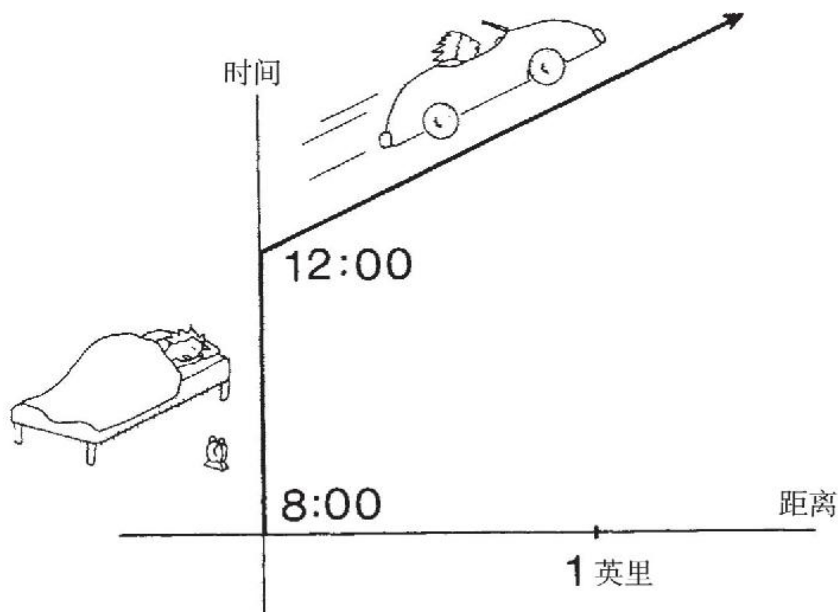
世界线

相对论为我们提供了一个简单的方法来处理这些棘手的悖论。我们将利用由爱因斯坦首创的“世界线”方法来解决问题。

比如，我们的闹钟在一天早上8点叫醒我们，我们决定上午赖床不去上班。在表面上看，我们是赖在床上无所事事，实际上，我们描绘出了一条“世界线”。

取一张绘图纸，我们将水平方向上的标度设置为“距离”，垂直方向上的标度设置为“时间”。8点到12点，我们躺在床上，我们的世界线将显示为一条垂直的直线。我们的时间向未来走了4小时，但我们的旅行距离为0。即便是什么也不做，也产生了一条世界线。（如果有人批评我们赖床，我们可以用爱因斯坦的相对论来反驳他——谁说我们什么也没做，我们在四维时空中画了一条世界线。）

我们最终在中午下床，下午1点抵达工作地点。我们的世界线变得倾斜，因为我们在空间和时间上都进行了移动。图11.1中左下角是我们的家，右上角是办公室。如果我们选择驾车去工作地点，将会节约一半的时间。在坐标系上将会变现为——走得越快，时间线就会偏离垂直方向越多。（注意，图中存在一个我们的世界线永无法进入的禁区，因为我们的速度无法超过光速。）



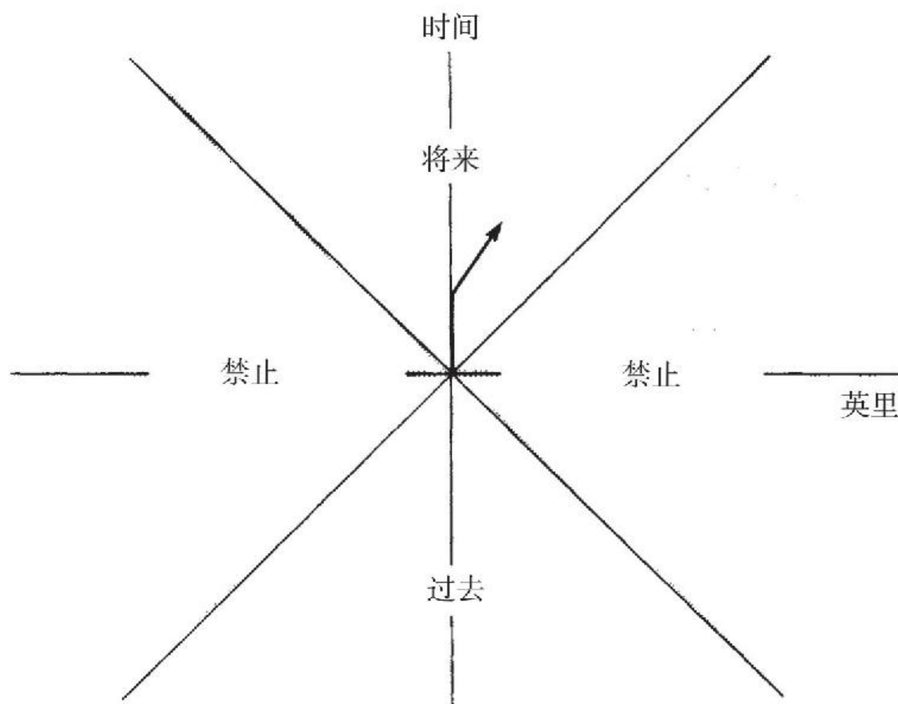


图11.1 我们的世界线包括了我们的整个历史，从生到死。例如，我们在床上从早8点躺到12点，我们的世界线是一条垂线。我们开车去工作，我们的世界线变成一条斜线。我们开得越快，世界线就越倾斜。我们在理论上可达到的最高速度是光速，故而产生了临界斜率。因此，超过光速而产生的时空图是“禁止”区域。简言之，我们必须超过光速才能进入这个禁区。

我们可以得出一个结论。我们的世界线永远没有真正的起始点和结束点。即使我们死亡，我们身体中的分子的世界线会继续延伸。这些分子或许会扩散到空气或土壤中，但他们会画出它们自己永不结束的世界线。同理，当我们出生时，来自母亲的分子的世界线将凝聚到婴儿中。世界线永不会被打破或无中生有。

为了弄明白这个道理，以我们自己的世界线为例。如，1950年，我们的母亲和父亲相遇、相爱，并产生了婴儿（我们）。因此，我们的母亲和父亲的世界线相遇后产生了第三条世界线（我们的世界线）。当某个人死亡时，构成这个人的世界线最终会分散成数十亿条我们分子的世界线。从这点来看，人类可以被定义为分子的世界线的临时集合。这些世界线散落在我们出生之前，共同组成了我们的身体，并在我们死亡后重新扩散。《圣经》说："从尘埃中来，到尘埃中去"。在相对论绘景中，我们可以说，"从世界线来，到世界线去"。

因此，我们的世界线包含有关我们历史的全部信息。我们的第一辆自行车、第一次约会、第一份工作，发生在我们世界上的每件事都记录在我们的世界线上。事实上，伟大的俄罗斯宇宙学家乔治·伽莫夫（George Gamow）就巧妙地将他的自传命名为《我的世界线》。他以才气过人的智慧和异想天开的想象力诠释爱因斯坦的著作而闻名于世。

我们可以借助世界线来想象自己回到过去会发生什么。我们进入一个时间机器，在我们出生之前遇上了我们的母亲。不幸的是，她爱上了我们，甩掉了我们的父亲。我们会如同《回到未来》中的描述那样消失吗？根据世界线来看，这种情形不可能发生。当我们消失时，我们的世界线因此而消失。然而，根据爱因斯坦的相对论，世界线不能被切断。因此，在相对论中改变过去是不可能的。

然而，第二个悖论涉及重新创作过去，它提出了许多有趣的问题。例如，我们让时间倒流，是为了去履行（重复）这段历史，而不是修改它。因此，时间机器发明者的世界线就成为了一个封闭的环。他的世界线是履行过去，而不是改变过去。

更复杂的是"简"的世界线，她是自己的母亲和父亲，也是自己的儿子和女儿（图11.2）。



图11.2　如果时间旅行是可能的，我们的世界线将变成一个闭合的环。1945年，女孩简出生。1963年，简（女）有了自己的孩子。1970年，简（男）以流浪汉的身份回到1945年与自己（女）相遇。1985年，简（男）是一个时间旅行者，他于1970年在一个酒吧中登上了时间机器，将自己带回到1945年。他拐走这个小孩（女婴），并将她带回到1945年，使所有的一切重新开始。女孩简是她自己的母亲、父亲、祖父、祖母、儿子和女儿等等。

请再次注意，我们不能改变过去。当我们的世界线逆时间返回时，它只是简单地履行早已被人们知道的历史。因此，在这样一个宇宙中，回到过去与年轻时的自己相遇是存在可能性的。假如我们的生活经历是

环形的，那么，我们迟早会遇到一个年轻的男子或女子——我们年轻时的自己。我们会告诉这个年轻人，我们看起来很面熟。接下来，我们再次回忆，在自己还很年轻的时候，似乎确实遇上过一位声称我们看上去很面熟的奇怪老人。

因此，也许我们可以回到过去，但却永远不能改变它。正如我们强调的，世界线不能切断也不能结束。它们或许会在某段时间内形成一个环，但它们永远不会改变过去。

然而，这些光锥图只是在狭义相对论的框架中给出的，它虽然可以描述我们进入过去将要发生的事件，但它毕竟太简单了，不能解决时间旅行是否有意义这个问题。要回答这个问题，我们必须转向广义相对论。在广义相对论中，情况将变得更加微妙。

广义相对论是解决问题的有力工具，我们用它弄清了这些互相缠绕的世界线在物理学上是允许存在的。这些封闭的圆环有一个科学名称——封闭类时曲线（CTC）。但在当今的科学界仍存在一个争议：广义相对论和量子理论到底允许还是不允许封闭类时曲线。



算术和广义相对论的搅局者

1949年，爱因斯坦非常关注他的一个亲密的同事和朋友，维也纳数学家库尔特·高德尔（Kurt Gödel）的发现。这个数学家也在爱因斯坦工作的普林斯顿高等研究院工作。高德尔发现了爱因斯坦方程的一个干扰解，这个解允许破坏公认的基本信条——允许某种形式的时间旅行。高德尔首次为时间旅行建立了数学基础。

在长达四分之一个世纪中，高德尔以搅局者的角色而出名。1931年，与人们的期待相反，他竟然证明了你不能证明算术的自洽性，从而闻名于世（实际上是臭名昭著）。在他的证明过程中，他摧毁了自欧几里得和古希腊人开始至今已有2000年之久的梦想。这个梦想即是使数学变得尽善尽美，将全部的数学简化成少数的几条自洽的公理，任何数学结果皆可由它们导出。

高德尔在《在数学的绝技》中提出，在算术中总存在一些定理，它们的正确与否，永远不能从算术公理中得到证明。即，算术总是不完备的。高德尔所得出的结论，或许是1000年来数理逻辑领域最惊人的最出乎意料的进展。

数学一度被认为是所有学科中最纯洁的，因为它是精确的和确定的。它还没有被我们这个物质世界所具有的令人生厌的粗俗所玷污，但是现在，它变得不那么确定了。在高德尔出现之后，数学的基石似乎被动摇了。（粗略来说，高德尔著名的证明始于在逻辑上存在一个奇特的悖论的证明。例如，考虑这样一个陈述，“这个句子是错误的”。如果这个句子是正确的，必然导出这个句子是错误的结论；如果这个句子是错误的，又会导出这个句子是正确的结论。又或者，我们考虑另一个陈述，“我是一个说谎者”。那么，只有当我说真话时，我才是一个说谎者。高德尔随后将这一陈述归纳为“这个句子不能被证明是正确的”。如果这个句子正确，那么，它就不能被证明是正确的。通过构建由这种悖论组成的复杂骗局，高德尔证明，数学中存在一些正确的但不能用算术来证明的命题。）

高德尔毁灭了一个梦，一个所有数学家最珍视的梦。在此之后，哥德尔又粉碎了围绕爱因斯坦方程所凝结的传统智慧。他指出，爱因斯坦的理论含有一些令人吃惊的病态结果，其中包括时间旅行。

他首先假设宇宙充满了缓慢旋转的气体或尘埃。这似乎是合理的，因为广袤的宇宙的确像是充满了气体和尘埃。然而，哥德尔的解引起人

们的巨大关注是出于如下两个原因。

首先，他的解破坏了马赫原理。他证明了爱因斯坦方程的两个解有相同的尘埃和气体分布存在可能性。（这意味着马赫原则是不完整的，即还存在隐含的假设。）

更重要的是，他证明了某些形式的时间旅行是允许的。如果一个粒子追寻哥德尔宇宙中的路径旅行，它最终会返回到过去并与自己相遇。他写道："一艘火箭船，沿着范围足够大的曲线作环形旅行，就可能旅行到过去、现在和未来的任何区域，然后再返回。"因此，哥德尔找到了广义相对论中的第一个封闭类时曲线。

以前，牛顿认为时间就像一支箭，准确无误地飞向目标。这支箭一旦射出，没有任何东西可以改变它的路线。之后，爱因斯坦认为时间更像一条强大的河流，在前进的路途中蜿蜒通过扭曲的山谷和平原。物质或能量的存在也许会改变河流的方向，但河道总体是光滑的：它决不会突然中断，也不会猛地回头。现在，哥德尔认为时间的河流能顺利向后弯曲成一个环（圆圈）。河流毕竟有急流和漩涡。河流在总体上总是向前流动，但在边上就不一样了。河流的边上总有一些涡流，在这里，水以旋转的方式流动。

哥德尔的解不能被看作一个疯子的工作，因为哥德尔是用爱因斯坦自己的场方程发现了时间弯成一个圆圈的奇异解。哥德尔是按规则办事发现了爱因斯坦方程的一个合理解，故而，爱因斯坦被迫采取了回避的方式放弃这个解。因为它与实验数据不符合。

哥德尔的宇宙的弱点是假设宇宙中的气体和尘埃慢慢旋转。实验上，我们看不到宇宙尘埃和气体在太空中的任何旋转。我们的仪器已证实宇宙正在膨胀，但它似乎并未旋转。因此，哥德尔的宇宙可以安全地排除。（这让我们非常扫兴。我们的宇宙如真似哥德尔猜测的那样在旋转，我们就可以乐观地相信，时间旅行是具有可行性的。）

爱因斯坦在1955年去世了，他的方程的干扰解由于不能实验验证被抛弃了，并且，人们也无法遇见他们出生之前的父母。



生活在暮色地带

1963年，斯拉·纽曼（Ezra Newman）、西奥多·昂蒂（Theodore Unti），和路易斯·坦布雷诺（Louis Tamburino）发现了爱因斯坦方程的一个新解。这个新解比哥德尔的解更疯狂，这个解并非建立在哥德尔的旋转的充满尘埃的宇宙上。从表面上看，它像一个典型的黑洞。

与哥德尔的解一样，他们的宇宙允许封闭类时曲线和时间旅行。此外，当你在黑洞周围作360度旋转，不会转到你最初的位置。相反，就像居住在一个有着黎曼切口的宇宙，你会被卷到另一片宇宙中。纽曼-昂蒂-坦布雷诺宇宙的拓扑结构，可以比作居室中螺旋形的楼梯。如果我们绕楼梯旋转360度，我们不会到达出发点，而是抵达了另一阶楼梯上。生活在这样的宇宙中超出了我们所能想象的最坏的噩梦，我们所掌握的常识完全失去了作用。事实上，这个奇异宇宙的病态是如此之鲜明，以至于很快就出现了这样一个名称：NUT宇宙（NUT以纽曼、昂蒂、坦布雷诺三人名字的首字母命名）。

起初，相对论者以他们排斥哥德尔解那样的方式排斥NUT解。也就是说，我们的宇宙并非按照这样的解的形式在进行演化。因此，这些解由于缺乏实验验证而被武断地抛弃了。然而，几十年过去了，爱因斯坦方程的此类奇异解大量涌现而出，且它们允许时间旅行。20世纪70年代初，新奥尔良杜兰大学的法兰克·J．蒂普勒（Frank J．Tipler）重新分析了爱因斯坦方程的一个在哥德尔之前由W．J．范·斯托库姆（W．J．van Stockum）于1936年发现的解。这个解假定存在一个无限长的、旋转的圆筒。使人们吃惊的是，蒂普勒能够证明此解也违反了因果关系。

即使是克尔的解（它代表了外层空间的黑洞的最现实的物理描述），也被证明允许时间旅行。火箭船穿过克尔黑洞的中心（假设它们并未在这个过程中被粉碎），因果关系将会遭到破坏。

不久，物理学家们发现，NUT型奇点可以被插入任何黑洞或膨胀的宇宙中。事实上，编造无穷多个爱因斯坦方程的病态解已成为可能。例如，爱因斯坦方程的每一个虫洞都可以被证明允许某些形式的时间旅行存在。

根据相对论者蒂普勒的分析，“表现出任何一种奇异行为的场方程的解都可以被找到”。因此，被发现的迅猛增长的爱因斯坦方程的病态解一定会吓坏爱因斯坦，如果他还活着的话。

从某种意义上说，爱因斯坦方程就像特洛伊木马。表面上看，这种木马像一件完美的可接收的礼物。它告诉我们，在引力场下恒星发出的光是弯曲的，且这种弯曲现象是可以观测的，它还对宇宙的起源给出了令人信服的解释。但是，各样的魔鬼和妖怪都潜伏在里面，它们允许穿越虫洞的星际旅行和时间旅行成为可能。为了窥视最深奥的宇宙秘密，我们不得不放弃我们通常持有的信仰——我们的世界其空间是单连通的，历史是不可更改的。

但问题仍然存在：这些封闭类时曲线可以像爱因斯坦所做的那样，根据纯粹的实验依据予以排除吗？或者，有人能证明他们在理论上是可能的，并在实际上建造一个时间机器吗？



建造时间机器

1988年6月，三名物理学家，即加州理工大学的基普·索恩（Kip Thorne）、迈克尔·莫里斯（Michael Morris）、密歇根大学的乌尔维·尤尔特塞韦尔（Ulvi Yurtsever），首次提出了建造时间机器的认真的建议。他们让《物理评论快报》（世界上最著名的刊物之一）的编辑相信他们的工作应该受到重视。（在过去的几十年中，众多的提交给主流物理杂志的有关时间旅行的投稿都遭到了拒绝，因为他们并非建立在最重要的物理原理或爱因斯坦的方程上。）他们像训练有素的科学家一样，用易于被接受的场论语言提出了他们的观点。接着，又认真细致地解释了他们最薄弱的假设出现在什么地方。

为排除科学界的质疑，索恩和他的同事们意识到他们必须利用虫洞作为时间机器的主要证据战胜普遍的反对派。第一，如前所述，爱因斯坦自己也意识到黑洞中心的引力是巨大的，通过黑洞的任何飞船将被撕裂。虽然，虫洞在数学上是可能的，但他们在实践中却是无用的。

第二，虫洞可能是不稳定的。现在已能证明，虫洞中的小扰动会导致爱因斯坦-罗森桥的坍塌。因此，宇宙飞船在黑洞内出现会引起扰动，会导致虫洞入口的关闭。

第三，宇宙飞船的速度必须大大地超过光速，才能穿透到虫洞到另一边。

第四，量子效应是如此之大以至于虫洞可能会自行关闭。例如，黑洞入口发出的强烈辐射不仅会杀死任何试图进入黑洞的人，而且可能会导致入口的关闭。

第五，在虫洞中时间会逐渐慢下来，在中心区域趋向于完全停止。因此，在地球上的人看来，虫洞具有许多不受欢迎的特点。空间旅行者的速度似乎慢了下来，并在黑洞的中心变成彻底静止。空间旅行者看起来就像被时间冻结了。换句话说，空间旅行者需要无限长的时间才能穿越虫洞。我们假设自己能够成功穿越虫洞的中心并返回地球，但受限于巨大的时间扭曲，我们回到地球上的时间可能已经过去了数百万年，甚至数十亿年。

因为上述的这些理由的存在，虫洞解从未被严肃采纳过。

索恩是一位严肃的宇宙学家，但他并未以通常的宇宙学家持有的态

度极度怀疑甚至嘲笑时间机器。索恩逐渐以好奇的方式卷入了这个问题。1985年夏天，卡尔·萨根将他下一本书《接触》出版前的草案发给索恩。该书认真探讨了一个划时代的科学与政治问题：与外层空间的第一个地外生命的接触。每个思考外太空生命问题的科学家都必须面对一个问题——如何打破光障。由于爱因斯坦的狭义相对论明确禁止超过光速，故而，一个常规的飞船飞往遥远的恒星可能需要数千年。这使得星际旅行变得不切实际。萨根希望自己的书尽可能科学准确，他写信给索恩询问是否有任何科学可以接受的方式规避光障。

萨根的要求引起了索恩的好奇心。这是一个由一位科学家向另一位科学家提出的，要求严肃回答的诚实的与科学相关的要求。幸运的是，由于请求的非正统性，索恩和他的同事们用一种最不寻常的方式处理这个问题：反向工作。通常情况下，物理学家们从某个已知的天体（中子星、黑洞、大爆炸）开始，然后求解爱因斯坦方程找到周围空间曲率。我们记得，爱因斯坦的方程本质是一个物体的物质和能量含量决定周围空间曲率。用上述方法处理，我们保证能找到有关天体的爱因斯坦方程的解，而这些天体正是我们期望在外层空间里找到的。

由于萨根的奇特要求，索恩和他的同事们反向处理这个问题。他们从他们想找到什么这个初步的想法开始，试图得到一个爱因斯坦方程的解，使得空间旅行者不会被巨大的引力场的潮汐效应撕开。他们希望得到一个稳定的虫洞，这个虫洞不会在旅行中突然关闭。他们绕虫洞走一圈所花的时间只是几天，而不是数百万或数十亿地球年。事实上，他们的指导思想是，他们希望时间旅行者进入虫洞一段时间后，可以合理地安全返航。一旦他们确定了虫洞应该是什么样子的，接下来所要做的就是，开始计算创造这样一个虫洞到底需要多少能量。

从他们的非正统的观点出发，他们并不关心能量的需求是否超过了20世纪的科学所能提供的极限。对他们来说，建造时间机器实际上是未来文明的一个工程问题。他们想证明的是时间机器在科学上是可行的，而不需要证明时间机器是经济的或者用目前地球上的科学就能办到的：

> 通常，理论物理学家会问，“物理定律是什么？”或者“这些定律对宇宙的预言是什么？”与此相反，在这封信里我要问的是，“物理定律对非常先进的文明的活动有什么限制？”这个问题会引发一些有关物理定律本身很有意思的疑问。我们从这样一个问题开始，即物理定律是否会限制一个非常先进的文明为星际旅行制造虫洞并维护它的运行。

当然关键的短语是“非常先进的文明”。物理定律告诉我们什么可能而不是什么可行。物理定律与检验它们所花的钱并无关系。因此，理论上可能的东西也许会超过地球上的国民生产总值。索恩和他的同事们谨慎地指出，能够掌握并利用虫洞威力的神秘的文明必须是“非常先进的”。也就是说，这个文明能够进行所有的实验（即使这些实验对地球人是不切实际的）。

使他们异常高兴的是，他们很快就非常容易地发现了一个令人吃惊的简单的解，这个解满足所有的刚性约束。这个解，并非典型的黑洞解，所以不必担心被这个坍缩的恒星撕裂。他们将这个解命名为“可穿越虫洞”，以区别于其他的宇宙飞船不能穿越的虫洞解。他们非常兴奋，并给萨根回信。萨根随后将他们的一些想法写进了自己的小说。事实上，他们是如此惊讶于这个解的简单，以至于相信哪怕是新入学的物理学研究生也能理解他们的解。1985年秋，在加州理工学院进行的广义相对论课程的期终考试中，索恩将这个虫洞解给了学生们。索恩并未告诉学生们这是什么，他要求学生们推断这个解的物理性能。（大多数学生给出了这个解的详细的数学分析，但他们并未意识到这个解是一个允许时间旅行的解。）

如果学生可以在期终考试中具有更敏锐一点的观察力，他们就能推导出虫洞的一些惊人的性能。事实上，他们会发现穿越这个可穿越虫洞的旅行就如飞机旅行那般舒适。旅行者所经受的最大引力不超过1个重力加速度。换句话说，他们的表观重量不会超过他们在地球上的重量。此外，旅行者将永不必担心自己在旅行期间虫洞的入口会关闭。索恩的“虫洞”实际上是永久开放的。穿越一个可穿越的虫洞的旅行是可控制的，而不再需要花费100万年或者10亿地球年时间。莫里斯和索恩写到，“旅行将是完全舒适的，旅行所需的时间大约在200天，或者更少”。

至此，索恩指出，在电影中人们通常遇到的时间悖论将不复存在：“在科幻场景（例如，一个人回到过去杀死自己）中，人们也许希望封闭类时曲线能够生成多重性为零的初始轨道”（即那些不可能的轨道）。然而，索恩已经证明，出现在他的虫洞中的封闭类时曲线看起来完全能填充过去，而不是改变过去或者引起时间悖论。

在最终把这些令人吃惊的结果提供给科学界后，索恩写道，“爱因斯坦场方程的一个新解已经获得，它描述了在原则上可被人类穿越的虫洞”。

当然，它的实现还存在一个难题，这也是为什么我们今天还没建造出时间机器的一个理由。索恩计算中的最后一步，是推导为产生这个不可思议的、可穿越的虫洞所必需的物质和能量的确切性质。索恩和他的同事们发现，在虫洞的中心必须存在具有反常性质的“奇异的”物质形态。索恩很快指出，这个“奇异的”物质形态虽然反常，但似乎并未违反任何已知的物理定律。他预示说，在未来的某一时刻，科学家可能会证明这种“奇异的”物质不存在。然而现在，这个“奇异的”物质似乎是完全可以接受的物质形式，只要我们获取了足够先进的技术。索恩自信地写道，“一个‘非常先进的’文明可以从简单的虫洞建造出逆时间旅行的机器”。



时间机器的蓝图

然而，凡读过赫伯特·乔治·威尔斯的小说《时间机器》的人，可能都会对索恩的时间机器的蓝图失望。你并不能坐在客厅的椅子上，拨动几下转盘，就能通过闪烁的灯光目睹历史大跨度变化的全景图。包括：毁灭性的世界大战、伟大的文明兴衰，或未来科学奇迹的成果。

一个版本的索恩时间机器由两个房间组成，每个房间都包含两块平行的金属板。每对金属板之间产生的强大电场（大于任何由今天的技术可能产生的电场）撕裂时空的织构，并同时产生了在空间中连接两个房间的一个洞。然后，将其中一个房间放入火箭船里并加速到接近光速的行驶速度，而另一个房间留在地球上。由于虫洞可以连接不同时间的两个空间区域，因此，第一个房间中的时钟比第二个房间中的时钟走得慢。因为，在虫洞的两端，时间通过的速率不同，任何落入虫洞某一端的人会被立刻抛到过去或未来。

另一个版本的索恩时间机器如下所述。如果能找到“奇异的”物质可以像金属那样可塑，那么，最理想的形状想来应该是圆筒形。一个人站在圆筒的中心。接着，这个“奇异的”物质就会使它周围的空间和时间弯曲，产生一个虫洞。这个虫洞通往宇宙中处于不同时间的另一个遥远的地方。在涡流的中心那个人，在他或她被吸进虫洞并到达宇宙的另一端所受到的加速度不超过1个重力加速度。

表面上看，索恩的数学推理无懈可击。爱因斯坦方程的虫洞解的确允许在虫洞两边的时间以不同的速率回到过去，所以，原则上时间旅行是可能的。当然，前提是首先创造虫洞。索恩和他的合作者很快指出，主要问题是，如何控制足够的能量以制造并维持一个含有“奇异的”物质的虫洞。

通常，物理的基本原理之一是所有的物体都有正能量。振动分子、汽车、飞鸟和火箭都有正能量。（按照定义，空无一物的真空空间所具有的能量为零。）但是，如果我们可以生产具有“负能量”的物体（即所含能量比真空还要低的物质），那么，也许我们能产生一种“奇异的”空间和时间的组态，将时间弯曲成一个圈。

这个简单的概念，竟有一个听起来相当复杂的标题：平均弱能量条件（AWEC）。正如索恩谨慎指出的，为了时间旅行可以成功，必须违反平均弱能量条件，能量必须暂时变为负能量。然而，负能量一直遭到相对论专家的反对。他们认为，负能量会使反引力和许多实验中从未有

过的其他现象成为可能。

但索恩很快指出，通过量子理论可以获得负能量。1948年，荷兰物理学家亨里克·卡西米尔（Henrik　Casimir）证明了量子理论可以产生负能量：只要取两块大的、不带电的金属平板就可以做到。通常情况下，常识告诉我们：因为两块平板是电中性的，所以它们之间没有作用力。但卡西米尔证明，因为海森堡的测不准原理，隔开这两块平板的真空实际上是异常活跃的，数以万亿计的粒子和反粒子不断产生和消失。它们不知是从何处跑出，又无声无息地消失在真空中。因为它们转瞬即逝，所以在大多数情况下难以观察到它们，它们并不违反任何物理定律。这些“虚粒子”在两块平板之间产生净吸引力，卡西米尔预言这种吸引力能够被测量到。

当卡西米尔发表他的论文时，它受到了严重的质疑。毕竟，两个电中性的物体如何会互相吸引，这违反了经典电学的普遍规律。这是闻所未闻的。然而，1958年，物理学家M．J．斯派纳（M．J．Sparnaay）在实验室观察到这种效应，正像卡西米尔预言的那样。此后，这种效应被命名为卡西米尔效应。

利用卡西米尔效应的一种方法，就是将两块大的导电平行板放在每个虫洞的入口处，从而在虫洞的各端产生负能量。索恩和他的同事们得出结论，“平均弱能量条件永远不能违背。在这种情况下，可能不存在诸如可穿越虫洞、时间旅行、因果关系失败这样的事情。在没有到达一个桥的时候，就试图过桥显然为时过早。”

现在，对索恩的时间机器的评判尚无定论。所有人都承认，决定性因素是无论何时都需要一种完全量子化的引力理论来彻底解决问题。例如，史蒂芬·霍金指出，虫洞入口处发射出的辐射非常大，它们将与爱因斯坦方程的物质和能量含量相抵消。这种向爱因斯坦方程的反馈将使虫洞的入口发生畸变，甚至可能将它永远关闭。但是，索恩不同意霍金提出的辐射足以关闭虫洞入口的观点。

故而，超弦理论诞生了。因为超弦理论是完全的量子力学理论，它将爱因斯坦的广义相对论作为一个子集包含其中，它可以用来计算对原始虫洞理论的修正。原则上，它将允许我们确定平均弱能量条件在物理上是否可以实现，以及虫洞入口是否能保持开放以让时间旅行者享受回到过去的旅行。

霍金对索恩虫洞持保留看法。然而，具有讽刺意味的是，霍金也提出了一个甚至比索恩虫洞更异想天开的新的虫洞理论。霍金提出的虫洞理论并非将过去与现在相连接，他提出的虫洞将我们的宇宙和无数个平行宇宙连接起来。

12　碰撞的宇宙

> 自然不仅比我们想象的要古怪，而且比我们所能想象的还要古怪。
>
> ——约翰·伯顿·桑德森·霍尔丹（J．B．S．Haldane）

宇宙学家史蒂芬·霍金是科学上最悲惨的人物之一。他在无法治愈的、不断恶化的疾病中奄奄一息，但面对着几乎不能超越的障碍，他仍然顽强地致力于他的研究活动。尽管他失去了对手、脚、舌头、声带的控制，身体被约束在轮椅上，但他却依然成为了开辟新的研究大道的先锋。任何一个意志稍弱的物理学家遇到这样的困难，早就放下解决重大科学难题的努力了。

他不能用手握笔，他的所有计算都在大脑里完成，只是偶尔依靠助手的帮助。他失去了声带，只能依靠机械设备与外界通讯。虽然面对着重重困难，但他依然维持着充实的研究工作，还抽取时间完成了一部畅销科普书《时间简史》，并在世界各地展开演讲。

我曾经在剑桥大学外，他的家中拜访过他。那时，我应邀在他组织的物理学会议上演讲。我走过他的客厅，惊讶地发现一大批精巧的用于继续他研究的小工具。这些小工具令我印象深刻。例如，我在他的办公桌上发现了一个类似音乐家用来放置乐谱的那种器材。然而，这个器材更加精致，能抓住书本的每一页以方便阅读。（我战栗着思考，我相信很多物理学家也会如此思考：没有胳膊、手、声带，是否还有勇气继续自己的研究，即便有最好的机械为其提供帮助。）

霍金是剑桥大学物理学卢卡斯教授，艾萨克·牛顿也曾担任过同一职位。霍金和他的杰出的前辈一样，从事本世纪最重大问题的研究——爱因斯坦引力理论和量子理论的统一。因此，他对优美而自洽的十维理论感到惊奇，实际上，霍金就是用对这一理论的讨论作为他的那本畅销书（《时间简史》）的结尾。

霍金不再将他富有创造性的大量精力消耗在他名扬全球的那个领域——黑洞上。它现在已显得过时了。现在，霍金正寻找更大的猎物——统一场论。我们记得，弦理论起初是一种量子理论，之后吸收了爱因斯坦的引力理论。霍金是从纯粹的经典相对论专家而不是量子理论专家开始研究的。霍金用另一种观点对这个问题展开研究。他和他的同事詹姆斯·哈特尔（James　Hartle）从爱因斯坦的经典宇宙出发，然后对整个宇宙进行量子化！



宇宙波函数

霍金是量子宇宙学这一新学科的创始者之一。起初，在用词上这似乎是矛盾的。量子一词适用于无穷小的夸克和中微子世界，而宇宙意味着无限宽广的外层空间。然而，霍金和其他一些人现在相信宇宙的最终问题只能由量子理论来回答。霍金用量子宇宙学得出它的终极量子结论，这个结论允许无限数量的平行宇宙的存在。

我们记得，量子理论的出发点是波函数，它描述粒子所有可能的状态。例如，想象天空中有一块巨大的且不规则的雷雨云。雷雨云越黑，其中的水蒸气和灰尘的浓度就越大。因此，只要看一下雷雨云，我们就可以根据浓度快速估算天空中某部分水蒸气和灰尘的概率。

雷雨云可以比作一个单电子的波函数。与雷雨云相似，电子的波函数也布满所有的空间。同样，在某一点波函数的值越大，那么在该点找到电子的概率也越大。与此类似的，波函数还可以与大物体（例如人）联系在一起。当我坐在普林斯顿自己的椅子上，我知道我有一个具有薛定谔概率性质的波函数。如果我有办法看见自己的波函数，那它肯定类似于与我身体形状非常接近的一团云。但是，云的一部分将分散在所有的空间，到达火星，甚至逃离太阳系，尽管在那里它们已弥散得非常小（概率非常低）。这意味着，我坐在椅子上而不是待在火星上的可能性非常大（我实际上就是坐在椅子上）。虽然我的部分波函数已散布出银河系之外，但我待在另一个星系上的可能性是无穷小。

霍金的新思想，是把整个宇宙看成一个量子粒子。通过重复一些简单的步骤，我们得到了一些令人大开眼界的结论。

首先用一个波函数描述所有可能的宇宙集。这意味着，霍金的理论出发点必须是一个无限集的平行宇宙——宇宙波函数。霍金用宇宙这个词代替粒子，他的这个相当简单的分析已经导致我们在宇宙学思想上的概念性革命。

根据这个描述，宇宙的波函数散布在所有的可能的宇宙之上。靠近我们自己的宇宙波函数被认为是非常大的，所以我们的宇宙有非常大的概率是正确的，如同我们的预期。然而，波函数也遍及所有的其他宇宙。即使那里是没有生命，且与我们熟悉的物理定律不一致。由于波函数在这些其他的宇宙中是微乎其微的小，因此，我们预期在不远的将来我们的宇宙将不会通过量子跃迁而成为那样的宇宙。

量子宇宙学家面对的目标，是在数学上证实这个猜想。即表明我们现在的宇宙的波函数是非常大的，而其他宇宙的波函数是非常小的（微乎其微）。然后，进一步证明，我们熟悉的宇宙在某种意义上是独特的，也是稳定的。（目前，量子宇宙学家还不能解决这个重要的难题。）

如果我们严肃思考霍金的想法，这意味着，我们必须从无限多个可能的彼此共存的宇宙开始分析。坦率地说，宇宙这个词的定义不再是“所有的存在”，它现在的意思是“所有可能存在的东西”。例如，在图12.1中，我们可以看到宇宙的波函数是如何散布到若干个可能的宇宙上。我们的宇宙是最可能的一个，但肯定不会是唯一的一个。霍金的量子宇宙学还假定，宇宙波函数允许宇宙互相碰撞。虫洞可以发展并连接这些宇宙。但是，这些虫洞与前面章节所说的虫洞不同。它并非连接三维空间中的不同部分，这些虫洞将不同的宇宙彼此连接起来。

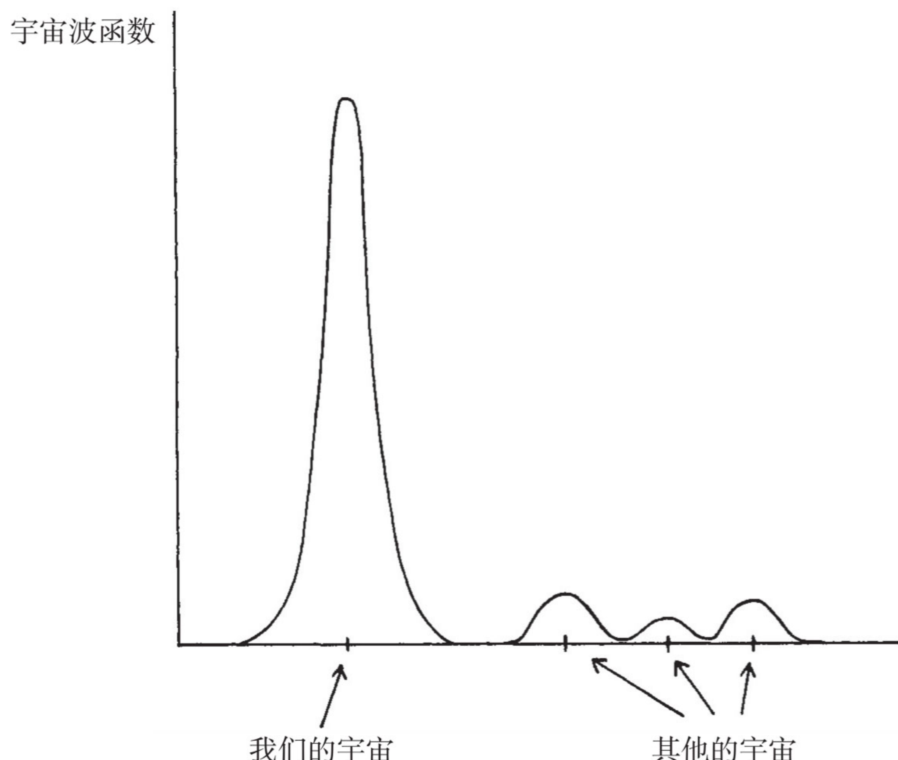


图12.1　在霍金的宇宙波函数中，这个波函数最有可能集中在我们自己的宇宙周围。我们生活在我们的宇宙中，是因为这个宇宙最有可能拥有最大的概率。但是，仍有一个小的但不为零的概率让波函数偏爱我们的邻居——平行的宇宙。因此宇宙间的旅行也许是可能的（尽管概率非常低）。

例如，悬浮在空气中的一大堆肥皂泡。正常情况下，每一个肥皂泡本身就像一个独立的宇宙。除非它不时与另一个肥皂泡相撞形成一个更大的肥皂泡，或分裂成两个较小的肥皂泡。而现在的情况是，每一个肥皂泡都是一个完整的十维宇宙。由于空间和时间只能存在于单个气泡

上，所以气泡与气泡之间没有时间和空间这样的东西。每个宇宙都有自己的自洽的“时间”，因此，说时间在所有宇宙中都以相同速度流逝是毫无意义的。（但是，这里应当强调，受限于我们目前的技术水平，这些宇宙之间的旅行还未对我们开放。此外，我们还应当强调，在这种大尺度上的量子跃迁十分罕见，发生的周期可能比我们宇宙的寿命还要长。）

这些宇宙中绝大多数是死宇宙，它们没有任何生命。在这些宇宙中，物理定律是不同的，因此无法满足使生命成为可能的物理条件。也许在数以10亿计的平行宇宙中只有1个宇宙（我们的宇宙）有一组合适的物理定律允许生命的存在（图12.2）。

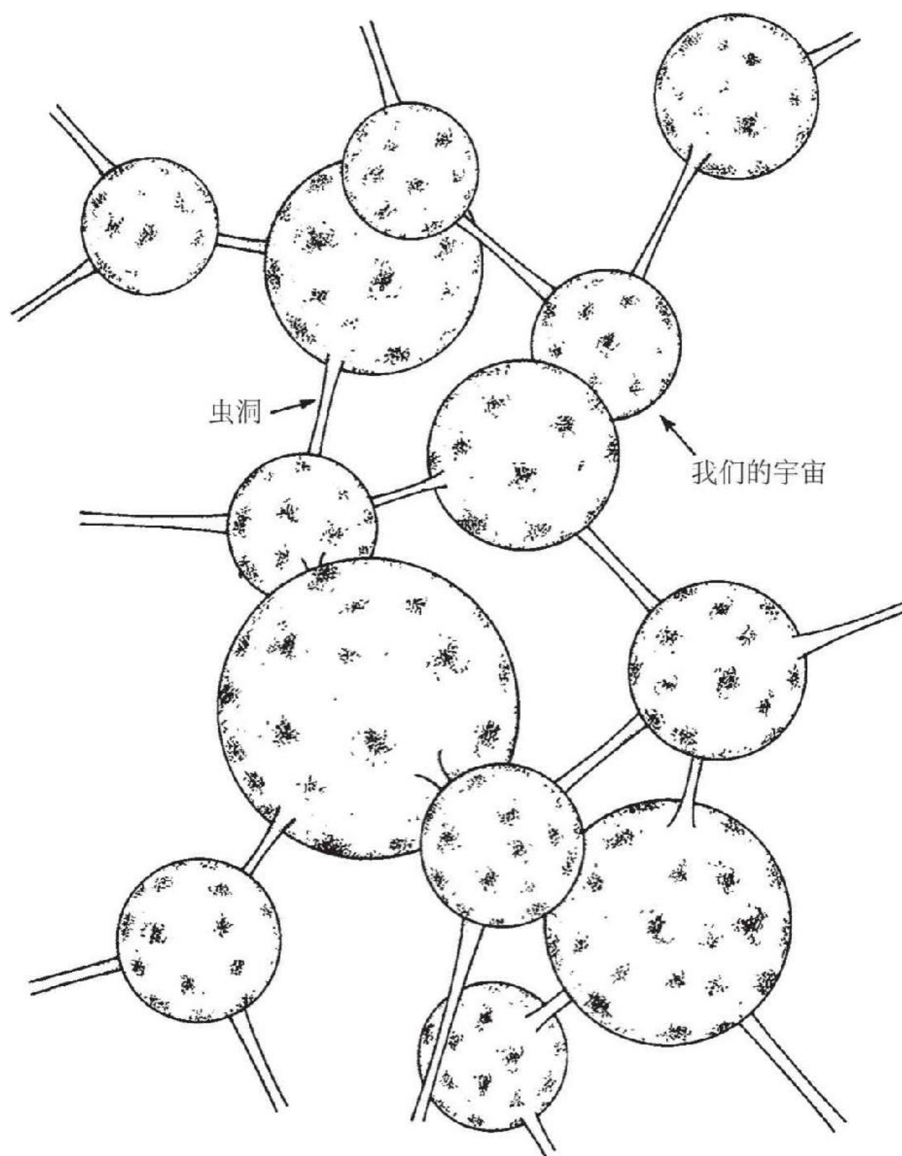


图12.2　我们的宇宙可能是无限多个平行宇宙中的一个，这些宇宙通过无限系列的虫洞彼此相连。在这些虫洞间旅行是可能的，但其概率是很低的。

霍金的“婴儿宇宙”理论，尽管不是一个实际的旅行方法，但它注定产生了哲学问题乃至宗教问题。它在宇宙学家中引起了两个漫长的和热烈的争论。



将上帝放回宇宙？

第一个争论涉及“人择原理”。几个世纪以来，科学家已学会客观地观察宇宙。这种观察在很大程度上摆脱了人们的偏见。我们不再将人类的偏见和奇思异想投射到每一个科学发现上。然而，历史上早期的科学家常常犯拟人化的错误，认为物体和动物有类似于人的性质。犯这种错误的那些人，是因为他们发现他们的宠物也能表现出人的情绪和感受。（好莱坞的电影剧本作家也常犯这样的错误，他们想当然地以为天空中绕恒星转动的行星上一定居住着与我们相似的生物。）

拟人化是一个古老的难题。爱奥尼亚哲学家色诺芬尼（Xenophanes）曾悲伤地说，“人们想象众神的诞生，他们的衣服、声音和体形都与人相似……是的，埃塞俄比亚的众神是黑皮肤、扁平鼻；色雷斯人的众神是红头发、蓝眼睛”。在过去的数十年里，一些宇宙学家惊恐地发现，拟人化在人择原理的伪装下又悄悄回到了科学中。人择原理的一些鼓吹者公开宣称，他们想把上帝放回到科学中。

事实上，围绕人择原理的这种奇特争论，还是存在某种科学价值的。争论围绕一个无可争辩的事实（如果宇宙的物理常数稍微改变一点，这个宇宙上的生命将不可能存在）展开。这个值得注意的事实仅是一个幸运的巧合，还是展示了某个“天帝”的作品？

有两个版本的人择原理。“弱人择原理”的版本宣称，宇宙中存在智慧生命（我们）应当被认为是一种实验事实，它有助于我们了解宇宙常数。正如诺贝尔奖得主史蒂文·温伯格（Steven Weinberg）所说，“世界就是它现在的这个样子，倘若它不是这样，就不会有人问这个世界为什么是这个样子了。”“弱人择原理”用这种方式表述，人们很难对它进行讨论。

为了使宇宙中有生命，需要很多偶然的巧合联系在一起。生命取决于各种复杂的生物化学反应，如果稍稍改变某些化学或物理常数，生命的存在性将受到改变。例如，我们哪怕略微改变支配核物理的常量，则发生在恒星和超新星上的核合成和重元素的产生都将变为不可能。接着，在超新星中形成的原子或许会变得不稳定，或者根本不可能产生。生命需要重元素（比铁还重的元素）以产生DNA和蛋白质分子。因此，哪怕是核物理中最小的改动，也会影响宇宙中重元素的产生。我们都是恒星的孩子。然而，如果核物理的规律略有改变，我们的“父母”将不可能有孩子（我们）。作为另一个例子，我们可以放心地说，生命在早期海洋中的形成可能经历了10亿—20亿年。然而，如果我们能够以某种方

法将质子的寿命缩短到数百万年，那么，就不可能有生命。因为，由分子的随机碰撞形成生命所需要的时间明显不足。

换言之，我们存在于宇宙中并探求有关宇宙的问题，这个事实必然意味着一系列复杂的事情已经发生了。它还意味着自然的物理常数的值必须有一个确定的范围，以使恒星有足够长的生命时间创造我们身体中所需要的重元素，以使质子在生命有机会发育之前不要衰变得太快。也可以这样说，宇宙中存在能向有关宇宙问题发起探索的人类，给宇宙物理施加了很多的刚性约束。例如：它的年龄、它的化学成分、它的温度、它的尺寸和它的物理过程。

物理学家弗里曼·戴森（Freeman Dyson）对这些宇宙的巧合感到吃惊。他曾写到，“当我们观察宇宙，发现了许多物理学和天文学上的偶然现象。它们巧合地融合在一起造福于我们。我感觉，宇宙似乎在某种意义上知道我们的到来。”这段话带给我们的“人择原理”的强表述，它认为，宇宙所包含的一切物理常数都已被（由上帝或某个超人）精确地选择好了。因此，生命在我们的宇宙中成为可能。因为这个“强人择原理”的版本提出了有关上帝的问题，故而在科学家中产生了极大的争议。

可以想象，如果只要求几个常数呈现一定的值就能使生命成为可能，也许含有太多的运气成分。事实上，我们需要一大组物理常数在一个狭窄的数值范围内，方能使我们的宇宙形成生命。由于这种巧合事件发生的可能性极小，因此，为了创造生命，神智（上帝）或许精确地选择了这些值。

当科学家们第一次听到某个版本的人择原理时，他们大为吃惊。物理学家海因茨·帕格尔斯（Heinz Pagels）回忆说，“这是一种推理形式，他与理论物理学家进行研究工作时通常所用的方式完全不同”。

人择原理是一个古老说法的更完善的版本，旧观点的说法是上帝把地球放在了离太阳恰好的位置。如果上帝把地球放置到距离太阳较近的位置，地球会因为过热而无法形成生命。如果上帝把地球放置到距离太阳较远的位置，地球会因为过冷而无法形成生命。这种观点的错误在于，银河系中数以百万计的行星可能处在距离它们的太阳不恰当的位置，因此这些行星上不能出现生命。但是，一些行星则纯属意外（我们的星球就是其中之一），它们处在距离它们的太阳恰当的位置。因此我们能在这里讨论这个问题。

最终，大多数科学家从人择原理中醒悟过来。因为它既不具有预见能力，也无法加以检验。帕格尔斯不情愿地承认，“它不像物理学原理，没有办法确定它的正确与错误，没有办法对其测试。与传统的物理原理不同，人择原理不能接受实验证伪。可以肯定，它不是一个科学原理。”物理学家阿兰·古斯（Alan Guth）直言不讳地说，“感情上，人择原理有点让我心烦……人择原理是人们想不出更好的办法时才选择的。”

在理查德·费曼（Richard　Feynman）看来，理论物理学家的目标就是“尽可能快地证伪。”然而，人择原理毫无新意，且不能证伪。或者，正如温伯格（Weinberg）所说：“没有科学家就没有科学，但我们不能确定，没有科学宇宙就不可能存在。”

对人择原理的争论（有关上帝的争论）休止了许多年，直到最近，它又被霍金的宇宙波函数复苏。如果霍金是正确的，那么，就确实存在着无穷多的平行宇宙，存在着许多有不同的物理常量的宇宙。在这些平行宇宙中，有的质子退化得太快、有的不能制造出比铁更重的重元素、有的在生命开始之前大坍缩即快速发生，等等。事实上，如果没有像我们所知的能使生命变成可能的物理定律，无穷多的这些平行宇宙都是死宇宙。

在一个像我们所在的宇宙这样的平行宇宙中，物理定律是和我们所知道的生命相容的。我们今天能在这里讨论这个问题就是最好的证据。如果这是真的，那么就不必邀请上帝对如此珍贵的生命为什么存在于我们的宇宙中作出解释。然而，这又重新打开了“弱人择原理”的可能性，即我们的宇宙与许多死宇宙共存，而我们的宇宙是唯一适合生命存在的宇宙。

霍金的宇宙波函数所引发的第二次争论要深刻得多。事实上，这场争论至今也未得到解决。这就是所谓的薛定谔的猫的难题。



再访薛定谔的猫

由于霍金的婴儿宇宙理论和虫洞发挥了量子理论的威力，所以它不可避免地重新引发了有关其基础的仍然悬而未决的辩论。霍金的宇宙波函数并不能完全解决量子理论的矛盾，它仅仅表达了一种令人震惊的新观点。

我们记得，量子理论指出，每一个物体都存在一个波函数。它表征在空间和时间中的某一特定点上找到物体的概率。量子理论还指出，在你对粒子进行观察之前，绝不能确切地知道它们的状态。在进行测量之前，粒子可能处在由薛定谔波函数描述的各种状态中的任意一种状态上。因此，在作出观察或测量之前，你不能确切地知道粒子的状态。实际上，在进行测量之前，粒子存在于虚空的状态，即所有可能状态之和。

当这个想法首先由尼尔斯·玻尔（Niels Bohr）和沃纳·海森堡（Werner Heisenberg）提出，遭到了爱因斯坦的强烈反对。“月亮是因为老鼠盯着它看，才存在的吗？”他总喜欢这样问。根据量子理论的严格解释，月亮在被观测之前，并不存在于我们所知的状态中。事实上，月亮可以处在无穷多个状态中的任意一个。包括：在天空中现在的状态、被炸毁的状态，或根本不存在。是观察月球的过程决定了月球实际上是绕地球转的。

爱因斯坦曾与波尔有过多次交锋，挑战这种非正统的世界观。（在一次讨论中，波尔生气地对爱因斯坦说，“你不是在思考，只是在推理！”）甚至欧文·薛定谔（他以他著名的波动方程激发了整个讨论）也反对针对他的方程所作的这种再诠释。他曾沮丧地说，“我不喜欢它，非常抱歉我曾经做过一些与之相关的研究。”

为了挑战这种修正主义者的解释，评论家们提出了这样的问题：“在你看到猫之前，它是死的还是活的？”

薛定谔为了证明这个问题有多么荒谬，他将一只虚构的猫放置在一个密封的盒子中。这只猫面对着一支枪，这支枪连接到一台盖革计数器上，计数器又与一块铀相连。铀原子是不稳定的，它将发生放射性衰变。如果某个铀核分裂，它将被盖革计数器捕捉到。这时，盖革计数器会扣动枪上的扳机，其子弹会将猫射杀。

要确定猫的死活，我们必须打开盒子进行观察。然而，在打开盒子

之前，猫的状态是什么？根据量子理论，我们只能认为猫由一个描述死猫和活猫的两者总体的波函数来确定。

对薛定谔来说，认为猫不死不活的想法是荒谬的。然而，量子力学的实验证明迫使我们得出这样的结论。现在，每一个实验都证实了量子理论。

薛定谔的猫的悖论是如此奇怪，它经常让人想起刘易斯·卡罗尔（Lewis Carroll）的寓言中，爱丽丝看到柴郡猫（Cheshire cat）消失时作出的反应："'你将会在那里看见我，'猫说完就消失了。爱丽丝对此并不感到惊讶，她已习惯了这些古怪事情的发生。"多年来，物理学家们也早已习惯了量子力学中的"古怪"事情。

物理学家对付这种复杂性，至少有三种主要方法。第一种方法，我们可以假设上帝存在。因为"观察"就意味着有观察者，所以，宇宙中必定存在某种"意识"。一些物理学家，如诺贝尔奖获得者尤金·维格纳（Eugene Wigner），坚持认为量子理论证明了宇宙中存在某种万能的宇宙意识。

处理矛盾的第二种方法，得到了绝大多数物理学家的支持。它就是，对一切难题弃之不顾。大多数物理学家指出，没有任何意识的相机也可以进行测量。他们只是单纯地希望绕开这个不可避免的难题。

物理学家理查德·费曼（Richard Feynman）曾说，"我认为可以放心地说，没有人理解量子力学。如果你能尽量地避开它，就不要不断地自问'它怎么能像那样呢？'。因为你将'血本无归'地进入一个盲目的小巷，在那里，没有人能逃脱。没有人知道，它怎么能像那样。"事实上，人们常说，在20世纪提出的所有理论中，最愚蠢的莫过于量子理论。一些人说，事实上，量子理论所希望的就是人们不要去怀疑它。

第三种方法，称为多世界理论。这一理论（如人择原理）在过去的几十年失宠，但被霍金的宇宙波函数复活了。



多世界

1957年，物理学家休·埃弗雷特（Hugh Everett）提出了这样一种可能性：在宇宙的进化过程中，它不断地“分裂”为两半，就像道路上的叉。在其中一个宇宙，铀原子并未发生放射性衰变，盒子里的猫也并未被击中；在另一个宇宙中，铀原子发生放射性衰变，盒子里的猫将被射杀。如果埃弗雷特的观点是正确的，那么就存在无穷多个宇宙。每个宇宙通过道路上的分岔网与其他宇宙相连。或者，像阿根廷作家乔治·路易斯·博尔赫斯（Jorge Luis Borges）在《岔口路花园》中所写的那样，“时间不断分岔，通往无数的未来。”

物理学家布莱斯·德维特（Bryce DeWitt）是多世界理论的支持者之一。他描述了多世界理论对他产生的旷日持久的影响：“在每一个恒星、每一个星系、宇宙中每一个偏僻的角落，发生的每一个量子跃迁，都将我们地球上的局部世界分裂为无数个自己的副本。我仍然清楚地记得，在我第一次接触多世界概念时所受到的震惊。”多世界理论假定所有可能的量子世界均存在。在某些世界中，存在着像地球上那样的主导生命形式的人类。在其他一些世界中，亚原子事件的发生将阻止人类在这个星球上的不断进化。

正如物理学家弗朗克·韦尔切克（Frank Wilczek）指出，

> 据说，如果特洛伊（Troy）的海伦（Helen）在鼻尖上长有一个疣，那么，这个世界的历史将会完全不同。是的，疣产生于单细胞中的突变，这些突变通常是由暴露在太阳的紫外线下而引发。这个事件的合理结论是，“的确存在多世界，在它们中的某个世界，特洛伊的海伦确实在她的鼻尖上长有一个疣。”

事实上，可能存在多世界的这个思想由来已久。哲学家圣阿尔伯特·马格纳斯（St．Albertus Magnus）曾经写道，“存在多个世界，还是只有唯一世界？这是对自然界的研究中最崇高和最伟大的问题之一”。然而，这个古老观念的新变化是，多世界解决了薛定谔的猫的佯谬。在某一个宇宙中，猫或许死了；在另一个宇宙中，猫还活着。

虽然在表面上看，埃弗雷特的多世界理论似乎很奇怪，但可以从数学上证明它等同于通常的量子理论诠释。而在传统上，埃弗雷特的多世界理论并未在物理学家中流行开来。物理学家的终极目标是将问题简化。对他们来说，存在无穷多个随时裂解的同样有效的宇宙，简直是哲学上的噩梦。遗憾的是，他们无法将多世界理论排除。物理学上，有一

个被称为奥卡姆（Occam）剃刀的原理，它指出，我们应该永远走最简单的最可能的道路，放弃笨拙的其他选择，特别是在其他选择永不能被测量的情况下更应如此。（因此，奥卡姆剃刀剔除了老旧的“以太”理论，以太理论认为一种神秘的气体曾弥漫在整个宇宙中。以太理论对尴尬的问题提供了一个方便的回答：如果光是一种波且能在真空中传播，那什么是波动？答案是以太，它像流体一样，且在真空中可以振动。爱因斯坦认为，以太是不必要的，但却从未说过它不存在。他仅是说，以太与光并不相干。因此，按照奥卡姆剃刀原理的选择条例，物理学家们不再提以太了。）

现在我们可以证明，埃弗雷特的多世界之间的沟通是难以实现的。因此，任一宇宙都无法意识到其他宇宙的存在。如果这些世界的存在不能得到实验检验，我们就应该利用奥卡姆的剃刀消除它们。

物理学家某种程度上都具有相同的气质，他们不会直截了当地说天使和奇迹是不存在的。也许他们确实存在，但按照定义奇迹是不可重复的，故而不可得到实验检验。因此，按照奥卡姆的剃刀原则必须消除它们（当然，除非我们能找到可以重复的、可测量的奇迹或天使）。埃弗雷特的导师约翰·惠勒（John Wheeler）也是多世界理论提出者之一。但他最终也不情愿地放弃了这个理论，因为“它需要携带太重的形而上学包袱”。

但是，随着霍金的宇宙波函数的流行，不受欢迎的多世界理论也开始得到复苏。埃弗雷特的理论建立在单粒子的基础上，通信不能在不同宇宙之间实现，因为它们是分裂的。然而，霍金的理论要深刻得多。他的理论虽与多世界理论相关，但却走得更远——它是以无限多个自洽宇宙（而不只是粒子）为前提，并假定它们之间存在隧穿的可能性（通过虫洞）。

霍金甚至进入了令人窒息的工作——计算宇宙波函数的解。他相信他的做法是正确的，部分原因是由于该理论是明确定义的（正如我们提及的，该理论最终将在十维空间中定义）。霍金的目标是——证明宇宙波函数在我们的宇宙附近以一个极大值呈现。因此，我们的宇宙就成为了最可能的宇宙，但肯定不是唯一。

到目前为止，已经召开了许多有关宇宙波函数的国际会议。然而，正如之前所述，宇宙波函数所涉及的数学运算远超出了这个星球上任何人的计算能力。我们也许要等上若干年，才会等来那个有进取心的人找到霍金方程的严格解。



平行宇宙

埃弗雷特的多世界理论与霍金的宇宙波函数之间的主要区别是，霍金将“虫洞连接这些平行宇宙”置于他理论的中心。你不必为以下事件担心——“下班后步行回家，打开门进入了一个平行世界。你惊奇地发现，家人们从未听说过你，他们不会冲上来迎接你，而是在恐慌和尖叫中将你当作非法入侵者送进监狱”。或许这种场面只有在电视或电影中才会出现。在霍金的方案中，虫洞实际上不断地将我们的宇宙与万万亿个平行宇宙连接起来。但这些虫洞的平均尺寸极小，大约为一个普朗克长度的尺寸（约为质子的一百万万亿分之一，对于人类的旅行来说简直太小了）。此外，由于这些宇宙之间的量子跃迁不频繁，我们也许要等待很长时间才能看到这样的事件发生。事实上，这段等待的时间已超过了宇宙本身的寿命。

因此，理论上我们可以进入与我们的宇宙相像的孪生宇宙（尽管概率非常低）。这个宇宙与我们的宇宙具有完全一致的物理定律。这两个宇宙仅是在创世分裂时在某一点上产生了微小的决定性差别。

约翰·温德姆（John Wyndham）在他的小说《随机探秘》中对这种类型的平行宇宙进行了探讨。小说中，英国的核物理学家柯林·特拉福德（Colin Trafford）在1954年的核试验爆炸中死里逃生。他没有死在医院里，相反，他独自毫发无损地在伦敦的一个偏僻的郊区醒来。他放下心来，一切似乎都回归正常。但他很快就发现了非常糟糕的事情。报纸的头条都是一些不可能的且无法想象的事情。在这里，第二次世界大战从未发生，原子弹也从未被发现。

世界历史被扭曲了。此外，他看了一眼书架。注意到了书架上的自己的名字和相片，他成为了畅销书作家。他感到无比震惊。在这个平行世界中，存在着一个他的确切的对应物，这个对应物是一个作者而不是一个核物理学家！

他在做梦吗？多年前，他曾梦想成为一名作家，但他最终却选择了成为一名核物理学家。显然，在这个平行的宇宙中，他在过去做出了不同的选择。

特拉福德翻阅伦敦的电话簿，发现了自己的名字，但地址是错误的。他颤抖着，决定去拜访“他的家”。

进入“他”的公寓，他很震惊地遇见了“他”的妻子，一个他从未见过

的人——美丽的女人。她很痛苦，愤怒于“他”与其他女人的暧昧关系。她斥责“他”的婚外情，但她发现自己的丈夫（特拉福德）非常困惑。特拉福德发现，他的对应人是一个无赖和色鬼。然而，他发现很难与一个他从未见过的美丽的陌生人争论，即使她碰巧是“他的”妻子。明显地，他和他的对应人交换了宇宙。

他逐渐发觉爱上了“他”的妻子。他无法理解他的对应人怎能如此卑鄙地对待“他”可爱的妻子。接下来的几周是他们一生中最美好的时光。他决定解除他的对应人多年来对妻子造成的一切伤害。然而，就在他们重新认识后，他被突然地拉回了自己的宇宙，并将这段爱一并带回。被抛回他之前的宇宙是违背他的意愿的，他开始在自己的宇宙疯狂地寻找“他”的妻子。他发现，在他的宇宙中，大多数的人（并非全部人）在另一个宇宙中都有其对应人。他推断，“他”的妻子毫无疑问地在他自己的宇宙中也必然有一个对应人。

他着魔似的追踪他记得的孪生宇宙的所有线索。他利用自己的所有历史和物理知识得出了一个结论——这两个宇宙原本是一个宇宙，1926年或1927年发生了某个关键事件致使其分裂为了两个宇宙。他分析到，一个单一的事件把这两个宇宙分开了。

然后，他仔细地追溯了几个家庭的出生和死亡记录。他用剩余的积蓄采访了许多人，直到他找到了“他”的妻子的家谱。最终，他成功地跟踪到他自己宇宙中的“他”的妻子。小说的结尾是，他将“他”的妻子娶回了家。



巨大虫洞的攻击

有一位哈佛大学的物理学家投身到有关虫洞的这场争论中，他就是西德尼·科尔曼（Sidney Coleman）。他慢悠悠地穿过杰佛逊（Jefferson）大厅的走廊，试图说服那些对他最近的最新虫洞理论持怀疑态度的人。他留着卓别林式的胡子，他的头发像爱因斯坦那样向后梳，他穿着超大号的运动衫，这些特征使科尔曼站在人群中鹤立鸡群。他宣称自己已解决了著名的在过去的80年里一直困扰物理学家们的宇宙常数问题。

他的工作甚至登上了《发现》杂志的封面，题为《平行宇宙——来自哈佛最疯狂的物理学家的新真相》。科尔曼在科幻小说上也是疯狂的，因为他是一个十足的科幻小说迷。他甚至与人合作创立了降临出版公司，出版有关科幻小说评论方面的书籍。

现在，科尔曼精力旺盛地忙于攻击那些认为科学家在我们有生之年不能证实虫洞理论的批评家。如果我们相信索恩的虫洞，那么我们将不得不等到有人发现外来物质或者掌握了卡西米尔效应的那一天。在那之前，我们的时间机器没有“引擎”，不能将我们带回到过去。与此类似的，如果我们相信霍金的虫洞，那么为了能在虫洞之间穿梭，我们必须在“虚时间”中旅行。无论是索恩的虫洞，还是霍金的虫洞，对于一般的理论物理学家来说都是非常糟糕的。他们受到了20世纪不充足的、薄弱的技术的挫折，只能梦寐以求地获得普朗克能量。

这就是科尔曼的工作所承担的任务。他声称，在目前而不是某个遥远的不可预知的未来，虫洞可能产生一个明确的且可以测量的结果。正如我们前面指出的，爱因斯坦的方程认为物体的物质-能量的含量决定周围时空的曲率。爱因斯坦想知道，纯真空的真空空间是否含有能量？纯真空没有能量吗？这个真空能量是用某个叫做宇宙常数的物理量来衡量的。原则上，没有什么能阻止宇宙常数出现在方程中。爱因斯坦认为，这一项从美学观点看是丑陋的，但他不能用物理根据或者数学根据将其抛弃。

20世纪20年代，当爱因斯坦求解它的宇宙方程时，他非常懊恼地发现宇宙在不断膨胀。当时的人们普遍认为，宇宙是静止不变的。为了使他的方程不出现宇宙膨胀解，爱因斯坦插入了一个微小的宇宙常数到他的解中。选择好它的数值，使它正好与宇宙膨胀相抵消，从而建立一个静态的宇宙。1929年，哈勃天文望远镜证明了宇宙确实在膨胀。随后，爱因斯坦消除了这个宇宙常数，并称其为“我一生中最大的错误”。

今天，我们知道宇宙常数非常接近于零。如果存在一个既小且负的宇宙常数，引力的吸引将会极强，整个宇宙将坍缩到只有几英尺大小（伸出你的手，就能抓住你面前的人，他恰好是你自己）。如果存在一个既小且负的宇宙常数，引力就是排斥的，所有的东西都在快速飞离你。其速度甚至大于光速，以至你永远看不到它们发出的光。因为以上这两种噩梦般的场景均未出现，所以我们相信宇宙常数是极小的，甚至等于零。

这个问题在20世纪70年代又重新出现，那时在标准模型理论和大统一理论中正广泛研究对称的破坏。每当一种对称被打破，大量的能量就倒进入真空。事实上，充斥在真空中的能量比实验所能观测到的大10^{100}倍。“10^{100}”毫无疑问是一个巨大的值。在物理学的任何地方，我们都没看到理论和实验有这样大的分歧——理论预测对称破坏时真空能量很大，而实验测量出宇宙常数为零。这就给科尔曼的虫洞带来了用武之地，它们用以抵消对宇宙常数多余的贡献。

根据霍金的理论，有无穷多个可供选择的宇宙与我们的宇宙共存，所有的这些宇宙都被一张无限连通的虫洞网连接起来。科尔曼试图将这些无限系列的贡献相加。当这个总和求出之后，他发现了一个令人吃惊的结果：宇宙的波函数正如人们所预期的那样倾向于零宇宙常数。假如宇宙常数为零，其波函数将变得非常大，这意味着找到零宇宙常数的宇宙的概率非常大。此外，假如宇宙常数为非零，宇宙波函数会很快消失，这意味着发现多余宇宙的概率为零。这正是取消宇宙常数的理由，换句话说，宇宙常数为零。因为这是最有可能的结果。存在万万亿个平行宇宙所带来的唯一效果，就是保持我们宇宙的宇宙常数为零。

因为这个结果非常重要，大多数物理学家都开始投入到这个领域中。“当西德尼完成了这项工作后，每个人都跳了起来。”斯坦福物理学家伦纳德·斯坎德（Leonard Susskind）回忆道。科尔曼以他典型的恶作剧的方式，幽默地发表了这一潜在的重要结果。他写道，“我不知道流沙已经淹到了我的脖子，且很快就要将我全部淹没。这种情境始终具有可能性。”

消除宇宙常数到10^{-100}的可能性小到令人难以想象。科尔曼喜欢生动地把这个问题的重要性强加给听众。他说，“试想，在10年时间里，你从不看自己的工资，且花掉数百万美元。最后，当你将自己在这10年里挣的钱与你的花销对比时，发现它们收支相抵”。因此，科尔曼的计算，证明可以消掉宇宙常数到10^{-100}是一个非常不平凡的结果。锦上添花的是，科尔曼强调，这些虫洞还解决了另一个难题：它们有助于确定宇宙的基本常数的值。科尔曼补充说，“这是一个与以前被考虑过的任何机制完全不同的机制。它是在自己的圈中飞旋的蝙蝠侠。”

但是，批评也随之涌现。最持久的批评是，他假定的虫洞是非常小的（在普朗克长度的量级），他并未对大虫洞求和。根据评论者的意见，大虫洞也应该包含在他的求和中。但是，由于我们看不见大的、可

见的虫洞，因此，他的计算似乎存在一个致命的漏洞。

科尔曼并不为这样的批评而苦恼，他用自己惯用的方式予以回击——为他的文章选取一些耸人听闻的题目。为了证明大虫洞可以在他的计算中忽略，他写了一篇文章反驳他的批评者。文章标题是——摆脱巨大虫洞的威胁。当有人问到他的标题时，他回答说，“如果诺贝尔奖的授予是因为标题，我早就得到诺贝尔奖了。”

如果科尔曼的纯数学论证是正确的，那么，他也许给出了虫洞是所有物理过程的基本特征的坚实实验证据，而不仅仅是痴心妄想。它意味着，把我们的宇宙与无穷多个死宇宙连接起来的虫洞，在阻止我们的宇宙将自己包裹进一个紧致的小球或者阻止它以令人不可思议的速度向外暴胀。在这点上，它发挥了重要作用。它还意味着，虫洞具有使我们的宇宙保持相对稳定的重要特征。

但是，随着科学界在普朗克长度上取得的重大进展，这些虫洞方程的终解必须等到我们能彻底理解量子引力理论之后才能得到。科尔曼的许多方程都需要消除普遍存在于量子引力理论中的无穷大，这意味着必须使用超弦理论这一方法。特别地，我们可能还要等到能有把握地计算对这个理论的有限量子修正。许多这些奇特的预言都将等待计算工具的改进。

正如我们所强调的，问题主要在理论上。我们尚不具备解决这些明确难题的数学能力。这些方程在黑板上看着我们，但我们却没有办法得到它们的严格的有限解。一旦物理学家对在普朗克能量尺度上的物理有了更好的认识，一个全新的概率宇宙就会从此开始。任何人或任何文明如果掌握了在普朗克长度发现的能量，将成为所有基本力的主人。这是我们将要进行的下一个主题——什么时候我们才能成为超空间的主人？

Part IV
Masters of Hyperspace

第四部分
超空间的主人

13　超越未来

> 百万年的文明意味着什么？在过去的几十年里，我们有了射电望远镜和太空飞船，我们的技术文明也已经有数百年之久……正如我们超越非洲丛林中的丛猴或者猕猴那样，一种数百万年之久的先进文明也大大超越了我们。
>
> ——卡尔·萨根（Carl Sagan）

一旦我们揭开了“将所有力统一到单一超力”的神秘面纱，我们的愿景是什么呢？物理学家保罗·戴维斯（Paul　Davies）曾对此作了一番评论，他写道：

> 我们可以改变时间和空间的结构，在虚无中产生物质，并建立秩序。控制这种超力，将使我们能够随意地构造和改变粒子，从而生成奇异形式的物质。也许，我们甚至可以改变空间本身的维度，创造奇异的有着不可想象性能的人造世界。我们真的成了宇宙的主人。

我们何时才能拥有利用超空间的力量呢？超空间理论的实验验证（至少是间接的），或许要等到21世纪。然而，掌握操控（不只是验证）十维时空并成为“宇宙的主人”所必须的能量尺度，要超出今天的技术许多个世纪。如前所述，需要巨量的物质-能量才能实现这个近乎神奇的业绩，如产生虫洞和改变时间的方向。

要成为第十维度的主人，我们要么遇到已能够利用天体级能量的银河系中的智慧生命；要么是在我们获得这种能力之前已为此奋斗了数千年。例如，我们目前的原子加速器可以将粒子的能量提高到1兆（1万亿）电子伏特（1个电子由1兆伏电压加速所产生的能量）。现在，世界上最大的加速器坐落于瑞士日内瓦，由14个欧洲国家的组成的一个财团掌管。但这种能量与探索多维空间所需的能量（10^{20}亿电子伏特）相比是那么的微不足道。这个能量比超导超级碰撞机（SSC）产生的能量大千万亿倍。

1万亿（10^{15}）或许看起来像一个不可企及的大数字。探测这个不可思议的能量所必需的技术，或许需要几十亿英里长的原子加速器，又或许干脆用一种全新的技术。即使我们用全世界国民生产总值之力建立一个超级强大的原子加速器，也无法接近这个能量。初看起来，要掌握这一水平的能量似乎是一个不可能完成的任务。

然而，如果我们理解技术其实是呈指数发展的，那么，这个数字看起来就不像上面所说的大到荒谬的地步了。为了理解技术的这种指数型发展到底有多快，可以通过细菌分裂实验加以比较。如果一个细菌每30分钟分裂一次，且它的生长不受限制。那么几个星期之后，这个细菌将

繁殖为一群细菌，其总重量将超过地球的重量。

虽然人类已在地球上存在了大约200万年，但直到最近的200年，才迅速上升到现代文明。这可能要归功于科学知识呈指数型增长这一事实。即，它的膨胀速度正比于人类已知的知识。我们知道得越多，我们就能以更快的速度认识更多的事物。例如，自第二次世界大战以来，我们积累的知识远比我们在地球上200万年演化所积累的知识还多。事实上，我们的科学家所获得的知识总量，大约每10年到20年就翻一番。

因此，分析我们自己在历史上的发展变得尤为重要。要认识技术是怎样按指数增长的，让我们按照每个人可用的能量分析自己的演化。这有助于展望何时能拥有开发十维理论所需要的能量。



文明的指数发展

今天，我们驾驶一辆发动机200匹马力的汽车去乡村度周末或许是很平常的事情。但是，对普通人来说，我们在这个行星上进化的大部分时间里能够获得的能量是较少的。

在这段时间里，最基本的能量来自于我们双手的力量，大约为1/8匹马力。人类以成群的方式生活在地球上，像动物一样成组地狩猎和觅食，只能使用自己肌肉的能量。从能量的角度来看，这种情况仅仅在最近10万年里才发生改变。随着手用工具的发明，人类扩大了肌体的功能。矛扩大了手臂的力量，棍棒扩大了拳头的力量，刀扩大了牙齿的力量。在这期间，他们的能量输出加倍了，大约可达到1/4匹马力。

大约在过去的1万年间，能量输出又一次翻倍。发生这种变化的主要原因，可能是冰川期的结束。冰川期使人类的发展延误了数千年。

由成群猎人和采集者构成的人类社会，随着冰川融化后农业的发现改变了。居无定所的人群不再需要在平原和森林之间迁徙，他们可以在稳定的村子里安定下来。在那里，他们可以年复一年地收获谷物。此外，随着冰川融化，动物（诸如马和牛）的圈养也开始出现，人类所能获得的能量上升到大约1匹马力。

随着阶层的兴起，农村生活开始出现了劳动分工，直到社会经历了重大变化——向奴隶制社会转变。这意味着，一个人（奴隶主）将掌握数百个奴隶的能量。能量的突然增加使非人道的野蛮成为可能。人们开始建造第一个真正的城市。在那里，国王们可以命令他们的奴隶使用大型起重机、杠杆、滑轮为他们建造堡垒和纪念碑。由于能量的增加，人们在沙漠和森林中建起了寺庙、塔、金字塔和城市。

从能量的角度看，地球上的人类在99.99%的生存时间中所掌握的技术水平仅比动物超前一步。人类所能获得的能量超过1匹马力也仅仅在最近的数百年里才得以发生。

具有决定性的变化发生于工业革命。牛顿发现了引力和运动的普遍规律，这使将力学化简为一组明确定义的力学方程成为可能。因此，牛顿的引力经典物理理论在某种意义上为现代机械原理铺平了道路。这有助于使蒸汽机的广泛使用在19世纪成为可能。有了蒸汽机，一般人能掌握数十至数百匹马力。例如，铁路的发展促进了整个大陆的发展，轮船开辟了现代国际贸易。它们都是以煤加热的蒸汽能驱动。

人类花费了1万年时间才创造出了遍及欧洲的现代文明。有了蒸汽机和内燃机，美国在100年内就实现了工业化。因此，仅仅掌握一种基本的自然力，就能极大地增加人类所获取的能量以及不可避免地改变社会。

19世纪末，麦克斯韦掌握了电磁力，再次掀起了能量革命。电磁力使我们的城市和我们的家庭电气化，呈指数地增加了我们的机器的多样性和功率。蒸汽机现在被强大的发电机所取代。

在过去的50年里，核力的发现使人所能获得的能量增加了100万倍。因为化学反应的能量以电子伏特来计量，而核裂变和聚变的能量则以百万电子伏特来计量，所以，我们在所能获得的能量上取得了100万倍的增长率。

用图像法对人类的能量需求进行历史性分析，得出结论——人类仅用了历史生命中的0.01%的时间，就掌握了远超动物所能控制的能量。最近几百年间，我们已能通过电磁力和核力释放巨大的能量。现在，让我们离开过去，讨论未来。使用同样的方法去了解我们何时才能利用超力。



I型、II型和III型文明

未来学（根据合理的科学预测未来的科学）是一门有风险的科学。有些人不称它为科学，称其为骗术或巫术。未来学理所当然地获得了这种狼藉名声，因为，未来学家所作的下个10年的每个“科学”预言都被证明为不切实际。使未来学变为一门落后的科学，是因为我们的大脑思维是线性的，而知识的发展却是指数型的。例如，对未来学家的调查表明，他们采取的预测方法是将已知的技术简单地增加2—3倍来预测未来。20世纪20年代的未来学家在他们所作预测中预言——未来几十年内，会出现庞大的舰队携带旅客横跨大西洋。

但是，科学也以不可预料的方式发展着。在短期内，以几年的时间作为基础进行外推，会得到科学将稳定发展的结论，科学将在业已存在的技术上通过量变而持续发展。然而，以几十年作为基础进行外推时，你会发现质变才是新领域突破的主要因素，在新领域里，新产业在出乎意料的地方出现。

未来学发生错误最著名的例子，或许是约翰·冯·诺依曼（John von Neumann）作出的预测。他是现代电子计算机之父和20世纪最伟大的数学家之一。他在战争结束后作了两个预测：第一，未来的计算机将变得巨大而昂贵，只有大型的政府机构才能购买得起；第二，未来的计算机可以准确地预报天气。

实际上，计算机的发展恰恰走上了相反的方向：便宜的、能放在我们手掌上的微型计算机到处都是。计算机芯片的价格变得低廉、货量充足，以至它们成为了一些现代电器的组成部分。我们已经拥有了“智能”打字机（文字处理），最终将会拥有“智能”真空吸尘器、“智能”厨房、“智能”电视等。同时，计算机无论多么强大也不能预报天气。虽然在原则上，计算机可以预测单个分子的经典运动，但天气太复杂了，即使某个人打喷嚏也会造成新的扰动。这种扰动逐渐扩散并跨越千里，最终或许会形成一次飓风。

作了这些重要的开场白后，让我们来判断一种文明（我们的文明或外太空的文明）什么时候才能获得掌握第十维度的能力。苏联的天文学家尼古拉·卡尔达舍夫（Nikolai Kardashev）曾将未来文明按照下面的方式进行了分类。

I型文明，是能控制整个行星能量的文明。这种文明能控制天气、防止地震、在地壳深处开矿、获取海洋资源。这个文明将能够完成对太阳

系的探险。

II型文明，是能控制太阳自身能量的文明。这并不意味着被动地获取太阳能。这个文明可以全面开采并利用太阳的能量，直接用太阳的能量驱动任何机器。这个文明将开始局部恒星系统的殖民化。

III型文明，是能控制整个银河系的能量的文明。它可以将几十亿个星系的能量作为自己可利用的能源。这个文明也许已全面掌握了爱因斯坦方程，能够随意管理时空。

这种分类的基础相当简单：不同的文明级别是根据掌握不同级别的能源进行的分类。I型文明使用整个行星的能量。II型文明使用整个太阳系的能量。III型文明使用整个银河系的能量。这种分类忽视了与未来文明的详细特征相关的预言（这必然是错误的），而集中在诸如能量供给等物理定律能够予以合理解释的方面。

按照这种分类法，我们的文明可被归为零型文明。因为我们刚进入行星能量开发领域，还没有足够的技术全面掌握并控制它们。像我们这样的零型文明，能量来自：石油、煤炭等化石燃料；在第三世界的大部分地区，能量来自人类的原始劳动。我们最大的计算机也不能预测天气，更别说对它实现操控了。从更大的角度看，我们的文明就像一个初生的婴儿。

尽管人们或许会猜想，从零型文明到III型文明的慢步发展或许要经历数百万年的时间。但是，有关这种分类方法的一个异常事实是——我们的发展攀升呈指数型增长，因此这个过程比我们原先预想的要快得多。

有了这些限制条件，我们可以对我们的文明何时能到达这些里程碑作出有条理的猜想。考虑到我们现在文明的增长速度，我们也许能在几个世纪内达到I型文明的状态。

例如，我们的0型文明所能获得的最大能量来自于氢弹。我们的技术是如此原始，只有引爆炸弹才能将氢聚变产生的能量释放，而不是用一种能量控制器对它进行控制。然而，一次简单的飓风就能产生数百个氢弹所能带来的能量。因此，控制天气作为I型文明的一个重要特征，距离今天的技术至少还有一个世纪。

类似地，I型文明完成了对太阳系的探险，已掌握了太阳系大部分区域的能量运用。相反，今天我们的空间旅行发展的是以几十年为尺度衡量的，因此，空间殖民应以几百年为尺度衡量。例如，美国国家航空航天局载人登陆火星的最早计划日期是2020年。因此，火星的殖民化也许会在40—50年后发生，而太阳系的殖民化也许要等到100年以后了。

相比之下，从I型文明到II型文明的过渡可能需要1000年。鉴于文明呈指数倍增长，我们可以预计在1000年内，文明对能量的需求将会变得

非常巨大，大到我们必须全面开采太阳的能量才能供应我们的需求。

II型文明的一个典型的例子是，在《星际迷航》系列影片中描绘的“行星联盟”。这个文明刚学会控制引力，即掌握了通过虫洞使时空弯曲的方法，因此，他们第一次具备了到达邻近恒星的能力。它逃脱了爱因斯坦广义相对论限定的光速极限。在这些系统上已建立了一些小型的殖民地，“企业”号星船发誓要保卫这些殖民地。该文明的飞船是由物质与反物质碰撞来提供能量。事实上，拥有制造高密度的适用于空间旅行的反物质的能力，需要等待几个世纪甚至上千年的时间。

从II型文明推进到III型文明，可能需要几千年或更长的时间。事实上，这是艾萨克·阿西莫夫在他的经典小说《基地》系列中预言的时间尺度，它描述了银河文明的兴盛、衰落和复兴。不同阶段所涉及的时间尺度都超过了千年。这个文明可以利用银河系本身所包含的全部能量。对这一文明来说，利用弯曲驱动而并非外来驱动实现恒星旅行，成为了银河系中不同区域间贸易和商业活动的标准途径。因此，尽管我们这个物种离开森林这个安全家园，建立一种现代文明总计花费了200万年的时间。但是我们离开太阳系这个安全家园，建立一种星系文明或许只需要几千年就能达到。

开创III型文明的一个选择是，学会获取并利用超新星或黑洞的能量。这种文明的星际飞船甚至可以探测银河系的核心，这也许是最神秘的能量源。天体物理学家分析，由于银河系的核心无比巨大，银河系的中心可能含有几百万个黑洞。如果真是那样的话，银河系将能提供无限的能量。

在这一阶段，掌握比现今大几千万亿倍的能量将成为可能。因此，III型文明可以掌握无数恒星系统的能量，甚至可以掌握银河系核心的巨大能量。于是，掌控第十维度，也许成为了可能。



太空鸡

我曾与普林斯顿高等研究院的物理学家弗里曼·戴森（Freeman Dyson）共进午餐。在物理学界，戴森是一位资深级的人物，他善于解决一些最理智的、最具挑战性的、最有趣的，人类面临的问题。如：太空探索的新方向、地外生命的特征、文明的未来。

戴森与那些过分专注某个狭窄的完全确定的专业领域的其他物理学家不同，他丰富的想象力漫游于整个银河系。“我不像玻尔和费曼那样，可以将自己的整个思想集中在一个深奥的问题上长达数年之久。我的兴趣分散于太多的不同方向。”他坦白地说。他身体单薄但却充满朝气，他有着牛津大学教师所具有的严谨风格，说话时带有英国口音。我们进行了一场长时间的、范围广泛的午餐会谈，触及了许多在这些年里让他着迷的思想。

戴森审视了我们的文明向I型文明过渡的过程，他发现我们原先的太空计划被引导到了错误的方向上。目前的趋势是“太空计划朝着更重的有效载荷”、“太空船发射的时间间隔越来越长”。这严重阻碍了空间探索。在他的著作中，他提出了一种彻底偏离这种趋势的方案。这种方案建立在他所谓的太空鸡上。

太空鸡体积小、重量轻、智能化，是多功能的太空探测器。相比过去的飞船，太空鸡有着显著的优势。过去的飞船笨重，太空飞行成本也非常昂贵，这成为了太空探索的一个瓶颈。“与太空飞船动辄几吨的重量相比，太空鸡仅有1公斤重，”戴森继续说道，“太空鸡将不用建造，它是生长出来的。”他继续补充道，“太空鸡可以像大脑重量不足1克的蜂鸟那般敏捷。”

太空鸡利用了生物工程中最先进的技术。它部分是机器，部分是动物。它身躯虽小，但却有充足的能力探索外层行星，如天王星和海王星。它不需要大量的火箭燃料，它被培育出来，并按照制定的程序“吃”在外行星周围的环上所能找到的冰和碳氢化合物。它用遗传工程设计的胃，将这些材料消化为化学燃料。一旦它的胃口得到满足，它会发射到下一个卫星或者行星上。

太空鸡依靠遗传工程、人工智能以及太阳能电力推进器方面的技术突破。由于这些领域的显著进步，戴森预计，太空鸡所需的各种技术在2016年前可以到位。

戴森以长远的观点审视文明的发展，他相信，以现在文明的发展速度，我们在几百年后就可以进入I型文明。戴森认为，促进各种类型之间的文明过渡并不困难。他估计，划分不同类型文明时所用的尺度和能量的差别大约为100亿倍。尽管这个倍数看起来像一个巨大的数字，但是以每年1%的增速缓慢发展的文明可以在2500年后实现不同类型文明之间的跨越。因此，一个文明稳步发展到III型文明的水平几乎是可以得到保证的。

戴森写道，“一个偶然的具有较强扩张力的社会，将在几千年的时间内把自己的居住地从单一的行星（I型）扩张到占据整个恒星的生物圈（II型）。在几百万年的时间内，从单个恒星（II型）发展到整个星系（III型）。已经超越了II型文明的种族将不再惧怕天灾人祸带来的种族灭绝。”

然而，还存在一个问题。戴森认为，从II型文明向III型文明过渡，可能会遇到强大的物理困难，即如何突破光速的限制。II型文明的扩张，必然会以低于光的速度行进，戴森认为这个问题极大地限制了它的发展。

II型文明能够利用超空间的能量打破光障和狭义相对论的约束吗？戴森不敢肯定。他提醒我，普朗克长度是一个非常小的距离，要探测到这个距离需要不可想象的能量。他觉得，或许普朗克长度是所有文明都必须面对的天然屏障。



太空中的III型文明

假如说达到III型文明的漫漫长路对我们自己的文明似乎非常遥远，那么，或许有朝一日我们将遇上地外文明。它为了自身的需要已经掌握了超空间并能为其所用，且愿意与我们一起分享它的技术。然而，我们面临的难题是——在我们的太阳系乃至银河系中，几乎看不到任何先进文明的迹象。我们的空间探测器，无论是20世纪70年代登陆火星的“海盗号”，还是20世纪80年代发射到木星、天王星、海王星上的“旅行者”，都发回的是令人沮丧的信息。这表明了我们的太阳系是凄凉的，没有生命的。

两个最有希望出现生命的行星——金星和火星——已被证明不存在生命的迹象，更不用说先进文明了。金星以爱的女神命名，天文学家以及浪漫主义者曾设想它是一个郁郁葱葱的热带星球。而事实正好相反，我们的空间探测器发现它是一个严酷的、荒芜的星球。它的大气层由令人窒息的二氧化碳构成，温度超过400摄氏度。它下的是有毒的硫酸雨。

1938年，广播电台广播了奥逊·威尔斯（Orson Welles）关于火星人入侵地球的科幻小说，这在美国的大萧条时期引起了恐慌。火星其实在此之前就引起了人们的极大关注，但它同样令人失望。我们知道它是一个荒凉的布满沙漠的星球，这里没有地表水的痕迹。古老的河床和消失的海洋在火星表面留下了鲜明的印记，但我们没有看到任何文明的废墟或迹象。

科学家们分析了太阳系以外从邻近恒星发出的辐射，同样没有结果。戴森强调，根据热力学第二定律，任何先进的文明都必然会产生大量的废热。它的能源消耗应该是巨大的，一小部分废热应该很容易地用我们的仪器检测到。因此，戴森主张对我们附近的恒星进行观察，用仪器去探测先进文明产生的废热的踪迹。但无论我们如何扫描天空，也看不见来自I型、II型、III型文明的踪迹或通讯信号。比如在我们自己的地球上，在过去半个世纪，我们已经掌握了广播和电视艺术。因此，围绕着我们的星球有一个半径为50光年左右的无线电波的球体。在离开地球50光年内的任何恒星，如果它包含智慧生命，应该能探测到我们的存在。同理，任何II型或III型文明在过去的几千年中应该会不断地发出大量的电磁辐射，因此，在这个文明的行星几千光年的范围内的任何智慧生命都能检测到它的存在。

1978年，天文学家保罗·霍罗威茨（Paul　Horowitz）扫描了所有类

似于太阳系的恒星系（总共85个）。遗憾的是，他没有发现任何来自智慧生命的无线电发射踪迹。天文学家唐纳德·戈德史密斯（Donald Goldsmith）和托比乌斯·欧文（Tobius Owen）在1979年报告说，他搜索了超过600个恒星系统，没有发现任何信号。这个被称为SETI（搜寻外星智慧）的搜索遭到了持续的失败。［为了鼓励大家进行天文探索，1992年美国国会表现出了少有的慷慨，划拨了1亿美元的专款用于为高分辨率微波测量建立一个10年计划。这种微波测量将负责检测附近恒星系统上是否存在智慧生命。利用这些资金，政府在波多黎各阿雷西沃建立了巨大的口径为305米的固定无线电盘，系统地扫描距离地球100光年范围内的星球。它将辅助加利福尼亚戈德斯的口径为34米的移动无线电天线，辅助其扫描夜空的宽广地区。在出现否定结果的数年后，加州大学圣塔克鲁斯分校的天文学家弗兰克·德雷克（Frank Drake）对他们将会找到智慧生命表示了谨慎的乐观。他评论说，“许多人类社会通过将好奇心与创造美好生活的努力结合起来，都独立地发展了科学。我认为这些相同的动机亦存在于其他生物中。”］

当我们意识到，在我们银河系中出现智慧生命的概率大得出奇时，我们更加困惑了。德雷克甚至导出了一个简单的方程，用以计算银河系中有智慧生命形式的行星的数量。

例如，我们的银河系包含大约2000亿颗恒星。为了给存在智慧生命形式的恒星数量一个大致准确的数字，我们可以做以下的粗略估计。我们保守地认为，这些恒星中的10%是黄恒星（类似我们的太阳），黄恒星中有10%拥有围绕自己运转的行星，行星中有10%的类地行星，类地行星中有10%拥有适合生命的大气，类地行星且拥有适合生命的大气的10%拥有类地大气层并孕育出了生命形式，而这其中的10%拥有某种形式的智慧生命。这意味着一个惊人的数字，银河系中有20万个恒星拥有某种形式的智慧生命。德雷克方程较乐观的一组解表明，智慧生命距离我们太阳的平均距离也许可以低到15光年。

科学家用近代的高级计算机技术可以使德雷克原始的粗略的计算得到改进。例如，华盛顿卡耐基学院的乔治·W．韦瑟里尔（George W. Wetherill）对我们太阳系的早期演化进行了计算机模拟。他从围绕太阳的一个大的涡旋气盘开始模拟。他让计算机演化该气盘，直到灰尘凝聚成小的岩石。他惊喜交加地发现，与我们地球大小相近的行星可以很容易地从这些岩石核心中演化出来。事实上，大多数时候，地球般大小的行星都会自发地由一块块物质合并而成，这些物质到恒星的距离则为地球到太阳的距离的80%—130%。（奇怪的是，他还发现，距离太阳很远的木星大小的行星的形成对于地球大小的行星的演化非常重要。木星大小的行星通常为清扫彗星的碎片和残核而形成。这些残核如未被清扫，就会撞击类地行星，灭绝类地行星上的任何原始的生命形式。韦瑟里尔的计算模拟分析表明，如果没有木星这类的行星以其巨大的引力清理彗星碎片，则类地行星遭遇彗星撞击的概率将比现实提高1000倍。这意味着，每10万年就有一次毁灭生命的撞击。）

因此，一个引人注目的（并非严谨的）的结论是，概率法则支持银河系存在其他智能生命的说法。事实上，我们的银河系已有100亿岁了，这意味着它有充足的时间让众多的智慧生命形式在其中孕育发展。II型和III型文明已经掌握了无线电技术数百年甚至数千年，它们应当发射出很容易被探测到的电磁辐射球面波。这些球面波的直径在数百光年到数千光年。然而，到目前为止，我们并未看到太空中的智慧生命形式的任何迹象。

为什么？

科学家已提出了好几个推测性理论，来解释为什么我们目前还不能探测到距离我们行星100光年外的地方的智慧生命的踪迹。这些解释没有一个令人特别满意，最终的真相也许是所有的这些解释的组合。

一个理论认为，德雷克方程可以告诉我们有多少行星包含智慧生命的粗略的概率。但他并不能告知我们，这些行星要到什么时候才可以发展到拥有智慧生命这个水平。鉴于天文时间尺度，也许德雷克方程预测的智慧生命形式存在于我们之前的数百万年前，或者在我们数百万年之后的未来。

例如：我们的太阳系已存在了大约45亿年时间，地球上的生命开始于30亿—40亿年前，但实际上，仅在过去的几百万年前才开始出现智慧生命（并且这个文明仅在过去几十年时间里才建造出了能够向外层空间发射信号的无线电台）。然而，100万年的时间放在几十亿年的时间尺度中仅是一瞬间。因此，我们有理由假设，数以千计的高级文明曾在我们遥远的祖先离开森林之前就已存在，并经历了发生、发展、衰亡的全过程。又或者，一些高级文明会在我们死亡后的很长时间才会发展起来。无论是前者还是后者，我们都不能用当下的仪器探测到他们。

第二个理论认为，银河系实际上充满了许多先进的文明，它们先进到可以隐藏自己的踪迹。故而，我们的仪器无法窥探到他们。他们比我们先进数百万年，因此，他们对我们并不在意。例如：我们在田野中偶然碰见一个蚂蚁群，我们的第一反应肯定不是与蚂蚁接触，要求与它们的领袖相见，在它们眼前挥动小玩意儿并为它们提供无与伦比的繁荣以及分享我们先进的技术成果。我们的正常反应，通常将它们忽略（甚至踩死几只蚂蚁）。

这些长期存在的问题使我困惑。我问戴森，他是否考虑过在不久的将来，我们会与地外生命相接触。他的回答完全出乎我的意料。他说，“我希望不”。我对此非常不解，某个对外层空间中的智慧文明思考了数十年的人对真正与他们会面持保留态度实在令人不可思议。然而，了解英国历史的人必定有恰当的理由不鲁莽地闯入或接受其他文明。英国文明可能只比其他许多文明（如被英国陆军和海军征服的印度文明和非洲文明）先进几百年的时间。

虽然大多数科幻作家抱怨空间探索中由光速所设置的限制，但戴森的观点则是非正统的，他认为这也许是一件好事。考虑到贯穿在我们世界历史中频发的血腥的殖民主义历史，他陷入沉思：各种II型文明将遥远的距离分割，致使普朗克能量无法达到。他打趣地说，看到光明的一面，“至少，我们可以逃避税收”。

不幸的是，两个不平等的文明之间的碰撞通常会给较弱的一方带来灾难性的影响。例如，阿兹特克文明在墨西哥中部地区经历了数千年的发展已变得非常优秀。在某些方面，它掌握的科学、艺术、技术可与欧洲的成果媲美。然而，在该地区的阿兹特克人的火药和军舰却落后西班牙人几个世纪。1521年，400名西班牙的衣衫褴褛的征服者与先进的阿兹特克文明之间的一场意外冲突，以阿兹特克的悲剧告终。在一个非常短的时间内，人口几百万之众的阿兹特克人被彻底打败，并沦为西班牙人的奴隶作业于矿上。他们的财富被掠夺，他们的历史被抹去，甚至他们伟大的阿兹特克文明也被汹涌而来的传教士抹杀了。

我们考虑当自己遇到外太空的来访者时我们会作何反应。读一读阿兹特克人遇到西班牙来访者是如何反应的。这是发人深省的，“他们像猴子一般抢夺黄金。显然，他们对黄金的渴望永不满足。他们渴望黄金、贪求黄金，他们像猪一般想用黄金将自己填饱。因此，他们拿起亮闪闪的黄金，将黄金据为己有，喋喋不休地胡言乱语。”［鉴于此，也许我们不应如此热情地期待与智能的外星人接触。科学家指出，在地球上有两种类型的动物：一类是捕食者，如：猫、狗和虎（它们的眼睛位于脸的前方，能凭借立体的视觉瞄准目标）；另一类是被捕食者，如：兔子和鹿（它们的眼睛位于脸的侧方，以便360度观察捕食者）。通常情况下，捕食者比被捕食者更聪明。试验表明，猫比老鼠更智能、狐狸比兔子更聪明。人的眼睛位于脸的前方，也是捕食者。我们在寻找智慧生命的历程中，应保持谨慎。我们遇到的外星人也许同样是从食肉动物进化而来。］

在宇宙尺度上，文明之间的突然碰撞可能会更富戏剧性。因为我们正在谈论的是天文学的时间尺度，所以一种比我们超前100万年的文明也许根本对我们没有兴趣（我们在他们眼中就像“蚂蚁”）。此外，我们的行星也几乎不能为他们提供大量的别的恒星可使用的自然资源。

然而在《星际迷航》系列影片中，“行星联盟”遇到了其他行星的敌对文明——克林贡和罗慕伦人。他们恰好与“行星联盟”处在相同的技术水平。这明显增加了这个系列影片的戏剧性和紧张性，但这个事件发生的概率是天文数字。实际情况中更可能出现的是，我们驾驶星际飞船冒险进入星系时，将会遇上与我们处于不同技术发展水平的文明。有些文明或许比我们领先成百上千万年。



文明的兴衰

除了“我们可能与其他文明错过了几百万年”或者“别的文明太先进以至于对我们不屑一顾”这两个理论外，还存在第三个理论，它比之前的两个理论更有意思。该理论认为，数以千计的智慧生命形式均从沼泽中产生，但他们都无法跨越一系列的自然灾害和自致灾害两方面的惩罚。如果这个理论是正确的，那么或许在有朝一日，我们的飞船将在遥远的行星上发现古老文明的遗迹。或者更可能的是，我们自己的文明也将面临这些灾难。我们不但没有成为“宇宙的主人”，还走上了一条自我毁灭之路。因此，我们要问的问题是：先进文明的命运是什么？我们（他们）是否能存活足够长的时间去掌握第十维度的物理？

文明的兴起并不是以技术和知识稳定且确定的增长为标志。历史告诉我们，文明的崛起、成熟、消亡，有时无轨可循。在未来，人类也许会打开技术恐怖的潘多拉盒子。从原子弹到二氧化碳，这些技术恐怖到可以威胁我们的生存。一些未来学家预言，我们也许等不到新时代的到来，就会迎来技术和生态的崩溃。对于未来，他们凭空给出了一幅人类的恐怖图像，它浓缩为查尔斯·狄更斯（Charles Dickens）小说中可怜的、受到恐吓的守财奴。他跪自己的坟墓里，卑躬屈膝地恳求上苍再给他一次机会。

不幸的是，大部分人几乎都选择忽视或未意识到面向我们的潜在的灾难。有些科学家认为，也许我们可以将人类这个单一的实体比作一个横冲直撞的失控的少年。例如，心理学家告诉我们，青少年的行为通常都是无法无天的。他们开车、饮酒、吸毒的习惯就是他们漫不经心和鲁莽的最鲜明的证明，影响着他们的生活方式和前景。在美国，青少年死亡的主要原因不再是疾病，而是意外事故。这些事故也许正是由于他们天真地认为谁也管不了他们，他们能永久活下去造成的。

如果这是真的，那么我们在滥用技术和环境，就好像我们能永久活下去似的，丝毫未注意到潜在的未来的巨大的灾难。社会作为一个整体，也有“小飞侠彼得潘情结”。不希望长大，不希望面对由于自己缺少责任心而导致的后果。

为了使我们的讨论具体化，我们可以利用已有的知识找出一些重要的在未来漫长的时间里必须跨越的障碍，才能成为第十维的主人：铀的屏障、生态崩溃、新冰川期、天体碰撞、复仇和灭绝、太阳和银河系之死。

铀的屏障

乔纳森·谢尔（Jonathan Schell）在其划时代的小说《地球的命运》中指出，我们已非常危险地接近了相互毁灭的阶段。虽然最近苏联的解体使得大规模的武器削减成为可能，但全世界仍存在至少5万枚战术和战略核武器，还配有相当准确的用于发射它们的火箭。人类已最终掌握了彻底毁灭自己的可能性。

假如在核战争中公开发射导弹，我们又恰好幸免于难未被摧毁，那么，我们仍有可能在核冬天导致的极度痛苦中死去。在核冬天中，燃烧着的城市产生的浓烟和灰烬慢慢挡住了生命赖以生存的所有阳光。计算机研究表明，1亿吨的核爆炸不仅会在城市中造成巨大的火灾，它还可以有效地遮蔽大气层。随着温度的急剧下降，农作物歉收、城市封冻，最后残剩的那一点文明将像蜡烛似的熄灭。

核扩散最终加剧了危险。美国情报机构估计，印度在1974年引爆了第一颗核弹之后，现已储存了大约20颗原子弹。美国情报机构声称，巴基斯坦在其秘密的卡胡塔核工厂已经建造了4颗原子弹，其中还有一颗原子弹的重量未超过400磅（181公斤）。在以色列迪莫纳核安装厂的工人声称，他看到在内盖夫沙漠有足够建造200颗原子弹的材料。南非承认，它制造了7颗原子弹，并在20世纪70年代末在其海岸进行了两次原子弹试验。美国间谍卫星“贝拉”（Vela）在南非海岸附近拾取到了原子弹的“指纹”，当时还有以色列的军舰在场。像朝鲜、韩国这样的国家和地区正处于核危机的边缘。这是非常可能的，美国情报局披露，到2000年底，有20个国家将拥有核弹。核弹将扩散到世界上最热点的地方，包括中东。

这种局面是极其不稳定的，并将变得更加不稳定，以至于国家之间将为了争夺日益减少的资源和势力范围而竞争。不仅是我们的社会，银河系中的每一个正在建立工业社会的智能文明都会发现92号元素（铀）以及它的大规模杀伤力。铀元素有维持链式反应和释放存储在原子核内巨大能量的奇妙性质。有了主宰铀元素的能力，我们就有了把自己这个物种从贫困、愚昧和饥饿中解放出来的能力，或者用核爆炸把我们这个行星毁灭的能力。但是，铀元素的能量只有在智能生命达到零型文明的特定发展水平时才能被释放出来。它依赖于有内聚力的社会单元的规模大小和它的工业发展状态。

例如，火的利用可以由孤立的一群聪明的个体（例如部落）掌握。为制造武器所需要的熔炼和原始冶金技术，则需要一个更大的社会单位才能掌握，大约需要数以千计（如一个小村庄）的个体。内燃机的发展（例如，汽车引擎）需要更为复杂的化学和工业基础为前提，它只能由数百万以上的个体组成的社会单位来完成（例如，一个国家或一个州）。

铀元素的发现打乱了这种缓慢的社会单位稳步上升与其技术发展之间的平衡。核能的释放使化学炸药相形见绌，它们甚至可以带来100万倍的差距。有的能够利用内燃机的国家，也能提炼铀元素。因此，一个严重的错配发生了，尤其是当这个假想文明的社会发展仍旧停留在敌对国家的形式时。由于铀元素的发现，用于故意损害和破坏的技术在发展速度上突然超越了社会关系的缓慢发展。

因此，我们可以得出一个很自然的结论：零型文明大量出现，是在我们的银河系的50亿—100亿年期间，他们最终都发现了铀元素。如果一个文明的技术能力的发展速度超过了社会发展的速度，那么随着敌对的民族国家的兴起，这个文明极有可能自我毁灭。[28]令人遗憾的是，假如我们的寿命足够长，能达到银河系中我们所在区域的附近的恒星系上，我们或许会看到为数众多的已故文明的灰烬。他们用核弹解决了民族感情、个人嫉妒和种族仇恨。

正如海因茨·帕格尔斯（Heinz Pagels）所言：

> 对我们的文明的挑战，必然会碰到道德秩序和政治秩序的建立。这种文明产生于我们对供给恒星燃料支持其燃烧的宇宙能量的认知，我们对光和电子通过物质的运动的认知，我们对生命的生物基础分子秩序的认知。道德秩序和政治秩序主要起协调作用，否则，我们将被摧毁。这种挑战将考验我们最深处的理智和情感之源。

因此，理性分析，我们的银河系中偶然产生了许多先进的文明。但他们都未跨越铀的障碍，尤其是当他们的技术超越了他们的社会发展速度时。

例如，我们在图表上绘制一个无线电技术的产生图，我们看到我们的地球在演化了50亿年后才有了一个智能的人种发现如何操纵电磁和核力量。然而，如果我们在核战争中进行了自我消灭，那么，这条曲线将成为一根竖线或归零。因此，为了与先进的文明交流，我们必须审视准确的纪元，精度在几十年，在这个文明毁灭自己之前。存在一个几乎看不见的“小窗口”，通过它，我们可以与另一个活着的文明在其自我毁灭之前接触。在图13.1中，我们看到整个银河系中外星文明的产生，它们用一系列峰线表示，每个峰线代表了一种文明的迅速崛起，以及由核战争导致的迅速衰落。因此，在太空中扫描智慧生命也许是一项艰巨的任务。也许在过去的几十亿年的时间中，已出现了成千上万的峰线，或者说，有成千上万的行星在自我毁灭之前掌握了无线电技术。不幸的是，每一个短暂的峰线都发生在不同的宇宙时间。

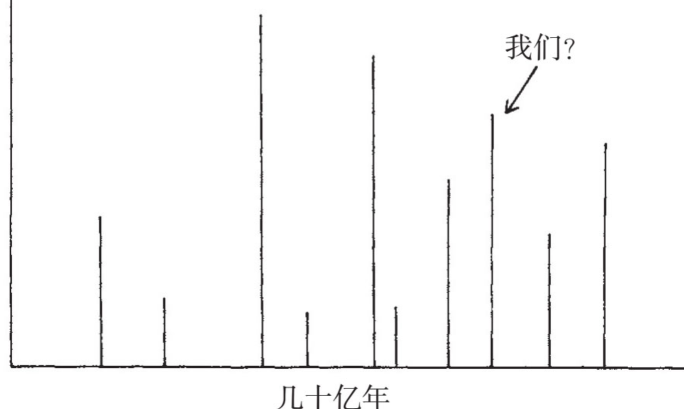


图13.1　为什么我们在银河系中看不到其他智慧生命？也许能够建造射电望远镜的智慧生命在过去几百万年间频繁出现过，但他们最终都消亡于核战争。我们的银河系可能曾经充满了无数智慧生命，但它们或许大多数都消亡了。我们的文明会有所不同吗？

生态崩溃

假设一个零型文明可以掌握铀而不会遭致核战争的毁灭，那么，他将面临的下一个障碍将是生态崩溃。

我们回忆之前提到过的单一细菌的例子。它进行着频繁的细胞分裂且不受限制，最终，它的重量将超过地球。然而，我们在地球上并不能看到这种大量的细菌。事实上，细菌菌落在通常情况下几乎长不到一分钱硬币的大小。我们将实验室里的细菌放在一个盛满营养液的盘子里，它确实会呈指数倍地增长，但它们最终会死亡，因为它们产生了太多的废物并耗尽了食品供应。这些菌落在它们自己生产的废物中窒息而亡。

与细菌菌落相似，我们也可能会耗尽自己的资源而淹死在我们不断产生的废物中。我们的海洋和大气层并非是无限的，它们是地球表面的极薄的一层薄膜。一个零型文明发展为I型文明之前，人口通常会膨胀到数十亿，从而带来资源紧张和污染加剧的问题。一个最直接的危险是大气中毒。人们会产生大量的二氧化碳，这些二氧化碳会吸收阳光并提高地球的平均温度，还可以带来失控的温室效应。

自1958以来，大气中的二氧化碳的浓度增加了25％，其中绝大多数来自石油和煤炭的燃烧（全球45％的二氧化碳来自美国和苏联）。这在

极大程度上加速了地球平均温度的上升。从1880年始，世界平均温度100年才上升0.5摄氏度。但今天，世界平均温度每10年就会上升0.3摄氏度。气温的这种加速上升将转化为海水的持续上涨。科学家预计2050年，海水将上涨1—4英尺（0.3—1.2米）。类似孟加拉国、洛杉矶和曼哈顿地区将被海水淹没。甚至更为严重的是，它会造成美国中西部地区粮食歉收，加速沙漠扩张，以及热带雨林破坏。这反过来又加剧了温室效应。饥荒和经济崩溃可能在全球范围内蔓延。

问题在于一种不协调的全球性政策。污染发生在全球数以百万计的个体工厂里，但能遏制这种肆无忌惮的污染的力量在于一种全球性政策。如果占统治地位的有凝聚力的国家拥有上亿的人口，这个政策的执行即便是可能的，也会非常困难。在短期内，这或许意味着需要采取紧急政策，急剧削减内燃机及煤和石油的燃烧。它可能会导致生活水平的下降。这意味着，发展中国家会面临更多的困难，因为他们需要获得廉价的能源。然而，从长远来看，我们的社会可能会被迫采取以下三个可能的解决方案之一——太阳能、核聚能、增殖反应堆。因为它们不会产生二氧化碳，且是用之不竭的能源。其中，太阳能和核聚能最有希望。核聚变发电（聚变在海水中发现的氢原子）和太阳能虽然距离实际应用还有数十年，但它们应当能为以后的数个世纪提供大量能量，直到社会过渡到I型文明。

问题再次出现在技术的发展超过社会文明的发展。只要，污染是由单个国家产生的，而纠正这种状况所必须的措施又是全球性的。那么，造成灾难的致命的不协调性就会显现出来。在解决这种不协调性之前，对零型文明来说，铀屏障和生态崩溃的存在将一直威胁零型文明的生命。

然而，一旦文明超过了零型状态，就较为乐观了。要达到I型文明，需要在全球范围进行非凡的社会合作。试图开发铀、内燃机和化学品资源，需要聚集几千万甚至几亿的人。试图利用全球资源，则需要聚集几十亿的人。因此，I型文明的社会组织必须是复杂且先进的，否则技术将难以得到发展。

根据定义，I型文明需要的一个团结的社会单位就是整个地球的人口。I型文明的本质必须是行星文明，它不能在较小的尺度上运行。

从某种意义上说，这可以比作生孩子。最危险的时期是婴儿初生的几个月。因为婴儿在这个阶段要完成内部环境向外部环境的过渡，外部环境中有大量潜在的敌对细菌威胁婴儿。一年后，他们很大程度上适应了外部环境，死亡率大幅下降。同样，一个文明最危险的时期是它取得核能力后的最初的几个世纪。文明一旦建立了全球性的政治体系，那么，危险时期也就过去了。

新冰川期

没有人知道是什么原因导致了冰川期的产生，它持续存在了几万年乃至几十万年的时间。一种理论认为，冰川期是由于地球自旋的细微变化引起的。这个变化太微小，以至在几个世纪的期间内，我们也无法观察到它。在几十万年的时间内，这些微小的影响逐渐累积，并造成极地射流的极细微的变化。最终，射流改道，冻结的极地气团跑到越来越远的地方，造成全球气温剧降，直到一个新冰川期的开始。这个新冰川期确实大大地损坏了地球的生态，消灭了大批哺乳动物的生命形式，隔绝了各个大陆的人群，甚至产生了各种不同的种族，这是一个比较新的现象。

不幸的是，我们的计算机太原始，甚至无法预测明天的天气，更不用说下一个冰川期的来临了。例如，计算机现在正准备步入了第五代。回想一下，无论第四代计算机多么复杂和强大，它也在同一时刻进行单线程的数值计算。这是一个巨大的瓶颈，也正是第五代计算机要解决的问题。第五代计算机将拥有并行处理器，可以在同一时间进行多线程的计算。

我们的文明（如果它成功跨过了铀屏障和生态崩溃）有了控制天气的能力，在数百年内达到I型文明是非常可能的。如果人类在下一个冰河期到来之前达到I型文明或更高的文明，那么，有充分的理由相信新冰川期不会将人类毁灭。人类要么改变天气阻止冰川期，要么离开地球。

天体碰撞

在几十万年到几百万年的时间尺度上，零型文明和I型文明都必须时刻警惕小行星碰撞和附近的超新星爆发。

在本世纪内，人类拥有了精确的天文测量能力，故而明白了地球的公转轨道与许多小行星的轨道相交。这种轨道相交使得地球与小行星发生碰撞的概率大大增加。（零型文明和I型文明防止发生类似碰撞的一种方法是——在小行星距离地球尚有数千万英里时，发射载有氢弹的火箭，使小行星偏离初始轨道。事实上，这种方法是国际上大批科学家提出的。）

这种碰撞发生的频率比一般人认识的要大。最近一次的碰撞发生在1993年1月3日，美国国家航空航天局的天文学家用雷达拍摄到了全程照片。小行星图塔蒂斯的照片显示它由两个岩石核心构成，每个直径2英里（3公里）。它在距离地球220万英里（350万公里）的范围内出现。1989年3月23日，一个直径大约0.5英里（0.8公里）的小行星运行到离地球更近的地方，大约70万英里（110万公里）（这个距离只有地球到月球距离的3倍）。

事实上，1992年底，科学家还宣布了一个巨大的彗星或许将在

2126年8月14日撞击地球。这次撞击也许会结束地球上的所有生命。哈佛-史密森天体物理中心的天文学家布莱恩·马斯登（Brian Marsden）预计这次彗星撞击地球的概率是万分之一。斯威夫-特塔特尔（Swift-Tuttle）彗星（以内战期间首次发现它的两名美国天文学家命名）很快被媒体称为“末日石”。即将失业的核武器物理学家们指出，他们应该被获准去建造巨大的氢弹，以便在末日来临之前将它炸成碎片。

事实上，斯威夫-特塔特尔彗星的碎片早已影响了地球。它每130年围绕太阳公转一周，并释放出了大量的碎片，形成了太空中的流星和粒子流。当地球穿过粒子流时，我们将会看到一年一度的英仙座流星雨，好像烟花一样照亮天空。（我们应该指出，预测彗星侥幸脱险是一件没有把握的事情。由于太阳的辐射热使彗星上的冰表面不规则地蒸发，显现出成千上万个小鞭炮一样的溅射，使它的轨道发生轻微的但却重要的偏离。马斯登几周后就收回了他之前说的话，因为它是不正确的。“我们在下一个千年是安全的”，马斯登更正道。）

美国国家航空航天局的一个研究小组在1991年1月估计，大约有1000—4000个直径大于0.5英里（0.8公里）的小行星的轨道与地球相交。这足以构成对人类文明的威胁。然而，雷达只对这其中的150个较大的小行星进行了跟踪。此外，据估计，大约还有30万个半径较小的小行星穿越地球轨道，它们的直径大约为300英尺（0.1公里）。不幸的是，科学家对这些更小的小行星的轨道一无所知。

在1967年的冬天，我还是哈佛大学的一名大四学生。在那时，我有一次与外星物体的近距离接触的经历。我宿舍中的一位密友在哈佛大学天文台有一份兼职工作。他告诉了我一个严格保守的秘密：天文学家发现了一个直径有好几英里的巨大的小行星，且正向地球的方向飞来。此外，他还告诉我，虽然具体时间还未有定论，但通过计算的演算，它可能会在1968年6月撞击地球，即我们毕业的时候。这样尺寸的物体与地球的地壳发生碰撞，地球会喷出数十亿吨岩浆，并在全世界范围内引起巨大的地震和海啸。随着时间的推移，我定期得到了这个世界末日小行星行程的新版本。天文台的天文学家显然非常小心，他们担心这些信息会引来不适当的恐慌。

20年后，我几乎忘记了这件事，直到最近，我浏览到一篇关于小行星侥幸脱离的文章才联想起曾经的记忆。果然，这篇文章提到了1968年的那个小行星。显然，这个小行星当时从距离地球大约100万英里（160万公里）的地方经过。

比小行星碰撞更罕见的且更壮观的是，在地球附近发生的超新星爆炸。一个超新星会释放出巨量的能量，甚至超过了数千亿的恒星所放出的能量总和。它最终发出的光或许比整个银河系还亮。它会产生一场X射线暴，它们足以在附近的恒星系统造成严重的干扰。即便在最小的情况下，附近的一个超新星爆炸也会产生巨大的电磁脉冲（EMP），类似于在外层空间引爆一个氢弹所释放的电磁脉冲。X射线暴最终会撞击我

们的大气层，将电子从原子中破碎出来。之后，电子会在地球磁场中旋转，产生巨大的电场。这些电场足以毁坏数百英里内的电器和通讯设备，造成混乱和恐慌。在大规模的核战争中，电磁脉冲将彻底摧毁或破坏在地球范围内的任何形式的电子器件。事实上在最坏的情况下，在一个恒星系统附近的超新星爆炸足以毁灭所有生命。

天文学家卡尔·萨根（Carl Sagan）推测，也许就是这样一个事件致使恐龙灭绝：

> 如果在大约6500万年前，距离太阳系10光年—20光年的范围内，碰巧有一个超新星。超新星会向四周发射致密的宇宙射线，这些射线中的一部分进入了地球的大气层，使大气层中的氮气燃烧并生成了氧化氮。氧化氮会将大气层中的臭氧保护层清除，致使地球表面太阳紫外线的辐射剧增。故而，地面上许多未能得到保护，未能避开紫外线的生物备受煎熬，并发生变异。

不幸的是，超新星在爆炸之前不会给出任何警示。超新星爆炸非常迅速，它的辐射以光速传播。因此，I型文明必须迅速进入外层空间。文明所能采取的唯一的预防措施就是，谨慎地监视那些临近的濒临爆发的超新星。

复仇和灭绝

1980年，现已故的路易斯·阿尔瓦雷斯（Luis Alvarez）和他的儿子沃尔特（Walter），还有弗兰克·阿萨罗（Frank Asaro）和加州大学伯克利分校的海伦·米歇尔（Helen Michel）共同提出——6500万年前彗星或小行星撞击地球，从而引发了巨大的大气扰动，导致恐龙突然灭绝。通过对6500万年前的河床上的岩层的检验，他们确定出有大量铱的存在。铱这种元素在地球非常少见，它通常存在于像流星那样的地外星体中。这个理论是合理的，因为一个直径为5英里（8公里）的彗星以每秒约20英里的速度（32公里）（比飞行的子弹快10倍）撞击地球，会产生100万亿吨的力（或全世界核武库的10000倍）。它会形成一个60英里（96公里）宽20英里深（32公里）的撞击坑，并释放出大量的碎片，足以在很长一段时间里遮蔽所有的阳光。这必然导致行星上的温度急剧下降，而温度下降又致使这个行星上的大量物种消亡或者严重减员。

事实上，科学家在1992年宣布，他们已经确定了一个杀死恐龙的彗星或小行星的强有力的候选者。众所周知，在墨西哥的尤卡坦靠近克苏鲁伯村的附近，有一个直径为110英里（176公里）的超大撞击坑。1981年，墨西哥国家石油公司和地球物理学家告诉地质学家，他们偶然发现了重力和磁力的奇异点，它们呈环状。然而，只有在阿尔瓦雷斯的理论变得广为人知后，地质学家才主动去分析那引起巨大灾变的冲撞的

遗迹。采用氩-39放射性年代测定法检测说明，尤卡坦地坑的年龄是（6.498±0.005）$\times 10^6$年。令人印象更深刻的是，地质学家在墨西哥、海地，甚至佛罗里达州发现了地面上铺着一层小的、像玻璃似的碎片。它们或被称为玻璃陨石，它们可能是一些硅酸盐，受到小行星或彗星的冲撞发生玻化的结果。这些玻璃陨石可以在第三纪和白垩纪之间沉淀的泥沙中找到。地质学家对5种不同的玻璃陨石样品所作的分析表明，它们的平均年龄是（65.07±0.10）百万年。假如这些独立测量的数据是准确的，那么，地质学家现在为杀死恐龙的小行星或彗星找到了确凿的证据。

但是，恐龙的灭绝只是地球上生命灭绝的有文献记录的大规模灭绝之一。其他的生物大灭绝比6500万年前的白垩纪时期的恐龙大灭绝更糟。例如，2.5亿年前结束的二叠纪时期的大灭绝破坏了当时地球上96%的植物和动物物种。三叶虫曾是统治海洋的地球上的一种主要的生命形式，在这次大灭绝中神秘地消失了。事实上，过去总共发生过5次动物和植物生命的大灭绝。假如我们将那些尚未被完全证实的大灭绝加入进来，则会得出一个显而易见的模式——地球上每2600万年左右将会发生一次大规模的物种大灭绝。古生物学家戴维·劳普（David Raup）和约翰·塞普科斯基（John Sepkoski）表明，如果我们画出任何给定时间地球上已知物种数目，那么，这张图将显示出，地球生命形式的数目每2600万年呈现一条陡峭的下降线，就像时钟一样准确。这张图显示出，过去的2.6亿年中有10次这样的循环（有2次循环不包括在内）。

在6500万年前白垩纪末期的那次灭绝循环中，绝大多数恐龙被灭绝。在另一次发生在3500万年前的始新世末期的灭绝循环中，陆地上的许多哺乳动物物种被灭绝。困扰我们的一个中心论题出现了——究竟有什么具有2600万年的循环周期？通过生物学、地质学，乃至天文学数据搜索表明，没有任何一个事物的循环周期为2600万年。

伯克利的理查德·穆勒（Richard Muller）分析认为，我们的太阳实际上是一个双星系统的一部分，我们的姐妹星（称为复仇女神或死星）决定了生活在地球上生命的周期性大灭绝。他猜想，我们的太阳有一个巨大的看不见的合作配偶子，每2600万年绕太阳转一圈。当它穿过奥尔特云（被认为存在于冥王星轨道之外的彗星云）时，会带来不受欢迎的彗星崩落物。部分崩落物会袭击地球，这些足够多的碎片将挡住太阳的光线到达地球表面。

这种不寻常理论的实验证据，来源于过去的每一个灭绝循环末期对应的地质层出现的不寻常的大量的铱元素。因为我们在地外流星中发现了天然的铱，很可能这些铱的踪迹是复仇女神发出的彗星的残留。目前，我们处于灭绝周期的中间时期，这意味着复仇女神如果存在的话，它此时应处于它轨道的最远点（几光年之外）。距离它下次到来，我们还有1000万年的时间。（还有一个理论可以解释这种巨大尺时间尺度上的周期性灭绝。那就是我们的太阳系环绕银河系运行的轨道。太阳系环绕银河系的轨道时而高于银河平面，时而低于银河平面，就像旋转木马

转圈时木马上下移动那样。当它周期性地沉浮并穿越银河平面时，太阳系可能会遭致大量的尘埃，这些尘埃会干扰奥尔特云，并带来一阵彗星雨。）

值得庆幸的是，当来自奥尔特云轨道的彗星再次迅速经过太阳系的时候，我们应已到达了III型文明的水平。这意味着，我们不仅征服了邻近恒星，同时还征服了穿越时空的旅行。

太阳之死

科学家有时会思考一个问题——在我们死亡很久之后，我们身躯中的原子最终会发生什么。最大的可能性是，我们以分子的形式回归太阳。

我们的太阳是一个正值中年的恒星。它大约有50亿岁了，在未来的50亿年，它也许将持续保持黄恒星的状态。当太阳耗尽它的氢燃料后，会继续燃烧氦燃料，并快速膨胀成为红巨星。此时，它的大气层会迅速膨胀并最终延伸到火星的轨道。地球的轨道将完全掩埋在太阳的大气中，因此地球将被太阳带来的高温蒸发。组成我们躯体的分子——实际上也是地球自身的分子，将被太阳的大气所毁灭。

萨根做了以下描述：

> 亿万年之后，地球将迎来最后一个完美的一天……北极和南极的冰盖将融化，使全世界海滨泛滥。高高的洋温会释放更多的水蒸气到空中，云量大量增加并屏蔽了来自太阳的阳光，延缓末日的到来。但是，太阳的进化演变不可避免。最终，海洋将会沸腾，大气将被蒸发而逃逸进入太空。一个最巨大的无法想象的灾难将会突然袭击我们的星球。

因此，对于那些想知道地球最终是毁灭于冰还是毁灭于火的人，物理学已给出了明确的答案——它将毁灭在火中。然而，如果我们能在这样长的时间里幸存下来，人类很可能已离开了太阳系。与超新星的突然爆炸不同，太阳的死亡有大量前兆可以预测。

银河系之死

在几十亿年的时间尺度上，我们必须面对这样一个事实——我们生活在其中的银河系最终也会死亡。更准确地说，我们居住在银河系的“猎户座旋臂”上。我们凝视夜空，会看到无数的天空中的巨量的星灯。此时，我们会感叹于自己的渺小。实际上，我们看到的仅是位于猎户臂上的极小部分的恒星。这些激发历代恋人和诗人情怀的数以百万计的恒

星，只占猎户臂的极小部分。银河系内其余的2000亿个恒星位于非常遥远的地方，它们像一根截断夜空的模糊带状物勉强可以被我们看见。

离我们最近的邻近星系是仙女座大星系，它比银河系大2—3倍，距离银河系大约200万光年。两个星系正以每秒125公里的速度互相靠近，原则上，它们会在50亿年到100亿年的时间内相撞。正如加州大学圣塔克鲁斯分校天文学家拉尔斯·赫恩奎斯特（Lars Hernquist）所说，这次碰撞将类似于“恶意的接管。我们的银河系将被消耗和摧毁”。

从外层空间观看仙女座星系，它看上去将要与银河系相撞，然后慢慢地将银河系吸收。对星系碰撞的计算机模拟表明，引力较大的星系将压倒引力较小的星系。在旋转几圈之后，引力较小的星系将被引力较大的星系吞噬。相较于恒星的碰撞，其概率远低于星系。因为银河系内的恒星相距甚远且其间均为真空，所以恒星之间的碰撞次数非常少，数量级为每世纪几次。所以，我们的太阳也许在一个超长的时间周期内不会发生恒星碰撞事件。

最根本的是，在几十亿年的时间尺度上，我们有着更致命的命运——宇宙自身的死亡。聪明的智慧生命形式会设法制造空间方舟，以避免大多数的自然灾害。但当空间本身成为了我们最大的敌人时，我们应如何应对才能躲避宇宙之死呢？

阿兹特克人相信，当太阳又朝一日从天空坠下时，世界末日将会来临。他们预言，“当地球变得疲惫不堪……当地球的种子消耗殆尽”，这一天就会到来。太空中的恒星将会被摇落。

也许，他们接近了真理。

人们可以希望，我们在太阳开始熄灭之前逃离太阳系并到达别的星球。（事实上，在阿西莫夫的“基地”系列科幻小说中，我们离开原来的恒星系统的位置已经数千年了。）然而，一个不可避免的事实是——太空中所有恒星都有核燃料耗尽并熄灭的那天。在几十亿年到几百亿年的时间尺度上，我们正面临着宇宙自身的死亡。如果宇宙是开放的，在这种情况下，它将永远膨胀下去，直到温度逐渐接近绝对零度；如果宇宙是封闭的，在这种情况下，宇宙膨胀将被逆转，宇宙会葬身于火海。即便是II型文明，这也是一个巨大的威胁。掌握超空间，能将文明从它的最终灾难（宇宙之死）中解救出来吗？

14　宇宙的命运

有人说世界将死于火。
有人说世界将死于冰。
从我的欲望出发，
我赞同那些偏爱火的人。

——罗伯特·弗罗斯特（Robert Frost）

在它结束之前，它没有结束。

——约吉·贝拉（Yogi Berra）

无论是地球上的文明还是在外层空间的文明，能否达到掌握超空间的技术发展阶段部分取决于是否能跨过零型文明的一系列灾难（正如我们已经看到的）。危险期是核时代出现后的几百年，当文明的科技发展远远超过了它的社会和政治上处理地区冲突的能力。

当一个文明已经达到III型文明时，它的行星的社会结构已先进到足以避免自我毁灭；它的技术已先进到足以避免生态或自然灾害（如冰川期或太阳坍缩那样的生态崩溃）。然而，即使是III型文明也很难避免终极灾难——宇宙之死。即使最强大、最完善的III型文明的飞船也无法逃离宇宙的终极命运。

19世纪的科学家就已经知道宇宙必定会死亡。查尔斯·达尔文（Charles　Darwin）意识到这个深奥且令人沮丧的事实，他在《自传》中痛苦地写道：“我相信遥远的未来的人类，将是一种无比完美的生物。令人无法忍受的是，经过这么长时间的持续的进步，他和其他众生注定要毁灭。”

数学家和哲学家伯特兰·罗素（Bertrand Russell）写道，人类最终会灭绝是“彻底绝望”的一个起因。罗素写的下面一段话，一定是科学家看到过的最令人沮丧的一段话，他说：

> 人无法预见他们最终将取得什么结局；他的出生、成长、希望和恐惧、爱和信仰，不过是原子偶然搭配的结果；火、英雄主义、强烈的思想或感情都不能永生不死；所有的劳动、奉献、灵感、人类天才的光辉，注定要消失在太阳系的灭绝中；所有的人类成就必会被掩埋在宇宙的碎片和废墟中——所有这些虽然远未摆脱争论，但还是如此近乎的肯定，没有反对它们的哲学能够有望成立。只有在这些事实的框架内，只有在彻底绝望的牢固基础上，才能安全地建造灵魂的家园。

罗素的这段话写于1923年（空间旅行到来前的几十年），太阳系死

亡的阴影笼罩在他的心头，因为这是物理定律导出的必然结果。受限于他那个时代技术的约束，得出这个令人沮丧的结论似乎是不可避免的。自那时以来，我们已掌握了充足的关于恒星演化的知识。我们知道太阳会演化为红巨星，且在核火中将地球毁灭。不过，我们也了解了空间旅行的基础知识。在罗素的时代，大型飞船将人类送往月球或行星的想法纯属疯子行为。然而，随着技术呈指数级增长，太阳系死亡的前景对人类来说已不再像以前那样可怕了。在太阳变为红巨星之前，人类或已死于核尘埃中，或已在群星之中找到了栖息之所。

不过，将罗素的“彻底绝望”的太阳系之死推广到宇宙之死并不困难。在这一事件中，似乎没有任何方舟可以将人类从灾害中拯救出来。结论似乎是无可辩驳的，物理学预测，“所有的智慧生命形式，不管其自身有多么先进，在宇宙自身死亡的时候都终将灭亡”。

根据爱因斯坦的广义相对论，宇宙不是在一片呜咽声中将永远膨胀下去并最终无限接近绝对零度的宇宙温度，就是收缩为一个火球而崩坠，即“大坍缩”。宇宙或者以开放的形式死于“冰”，或者以封闭的形式死于“火”。无论哪种方式，III型文明注定会因为温度将趋于绝对零度或无穷大而灭亡。

为了弄清楚自己的命运，宇宙学家用爱因斯坦方程计算了宇宙中的物质-能量的总量。因为在爱因斯坦的方程中，物质决定了时空弯曲的量。我们必须知道宇宙的平均物质密度，以确定其是否有足够的物质-能量使引力扭转最初宇宙大爆炸造成的宇宙膨胀。

一个平均物质密度的临界值决定了宇宙和宇宙中所有智慧生命的命运。如果宇宙的平均密度小于10^{-29}克每立方厘米（相当于10毫克的物质分布于地球的体积内），那么宇宙将继续膨胀下去，直到变为一个均匀的、寒冷的、毫无生气的空间。然而，如果平均密度大于10^{-29}克每立方厘米，那么就有足够的物质使宇宙引力逆转大爆炸，宇宙将遭受大坍缩造成的烈火的煎熬。

目前，实验状况是令人困惑的。天文学家们有几种测量星系质量推演而成的测量宇宙质量的方法。第一种方法，计算一个星系中恒星的数目，然后，用恒星数乘以每个恒星的平均重量。用这种麻烦的方法进行的计算，结果显示平均密度小于临界值，因此宇宙会继续膨胀下去。这一计算的问题是，它忽略了不发光的物质（例如：尘埃云、黑洞、冷矮星）。

还有第二种方法，即利用牛顿定律来完成计算。牛顿用月球围绕地球转动所花的时间，估算出了月球和地球的质量。以此类推，通过计算恒星绕星系运行所需的时间，天文学家就能利用牛顿定律估算出星系的总质量。

问题是，这两种计算方法给出的结果不一致。事实上，天文学家知

道，星系中有超过90%的质量以隐藏的、无法探测的“缺失质量”或不发光但有重量的“暗物质”的形式存在。即使我们将那些不发光的星际气体的质量的近似值包含进来，根据牛顿定律预测的银河系的重量也远大于统计恒星数目方法得出的值。

在天文学家彻底解决缺失质量或暗物质的问题之前，我们无法确定宇宙是坍缩成一个火球或者永远膨胀下去。



熵寂

假设宇宙的平均密度小于临界值。由于物质-能量的含量决定了时空的曲率，因此我们发现没有足够的物质-能量使宇宙重新坍缩。它将无限膨胀直到温度接近绝对零度。这个过程增加了熵（熵是衡量宇宙中混乱和无序的度量）。最终，宇宙死于熵寂。

英国物理学家和天文学家詹姆斯·琼斯（James Jeans）先生在19世纪末20世纪初谈及了宇宙终极死亡问题，他写道，“热力学第二定律预示宇宙的结局只有一个——‘热寂’。在‘热寂’中温度低得足以使生命无法生存。”

要理解熵寂如何发生，重要的是要弄明白热力学三定律，这三个定律支配地球上和恒星中的一切化学和核过程。英国科学家兼作家C．P．斯诺（C．P．Snow）提出了一种巧妙的方法记忆这三条定律：

> 1．你不能赢（也就是说，你不能无中生有，因为物质和能量是守恒的）。
>
> 2．你不能收支平衡（你不能回到相同的能量状态，因为无序总在增加，熵也总在增加）。
>
> 3．你无法摆脱这个游戏（因为绝对零度是无法达到的）。

对于宇宙之死来说，最重要的是第二定律，它规定任何过程都会造成宇宙中无序（熵）的净增加。第二定律实际上是一个我们日常生活中不可或缺的部分。例如，考虑把奶油倒进一杯咖啡，有序（分开的一杯奶油和一杯咖啡）自然地转变为无序（奶油和咖啡的随机混合）。然而，逆转熵（从无序中提取有秩）是极其困难的。“分开”这个混合液体，让其回到一杯奶油和一杯咖啡的原始分离状态，在没有一个精心设计的化学实验室的前提下是几乎不能完成的。又如，一根点燃的香烟可以使一个空房间充满烟雾，增加了那个房间中的熵。有序（烟草和纸）自然地转变为无序（烟雾和炭）。逆转熵，即迫使烟雾回到香烟中、炭放回到未燃烧的烟卷中，即便是这个世界上最强大的化学实验室也无法完成。

类似的，人人都知道，破坏比建设更容易。建造一座房屋也许需要一年的时间，但火灾可以在一小时内将其摧毁。花费了近5000年时间，

一群狩猎者造就了伟大的阿兹特克文明，造就了墨西哥和美国中部的繁荣，建立了高耸的纪念碑。然而，仅仅几个月的时间，科尔特斯（Cortez）和征服者就毁灭了这个文明。

与我们的行星一样，熵在恒星中也无情地增长着。这意味着，恒星最终将耗尽它们的核燃料并死亡，变成死的核废料。随着恒星逐个死亡并停止发光，宇宙将逐渐变暗。

鉴于我们对恒星演化的认识，我们可以描绘出一幅关于宇宙将如何死亡的绘景。随着恒星核反应堆的关闭，它们将在10^{24}年内变为黑洞、中子星，或冷矮星（这取决于它们的质量）。当恒星沿着结合能曲线向下滑时熵增加，直到核聚变不能再提取更多的能量。宇宙中所有质子和中子，在10^{23}年内都有可能会衰退。根据大统一理论，质子和中子在这个巨大的时间尺度上是不稳定的。这意味着，所有我们知道的物质，包括地球和太阳系，都会最终分解为较小的粒子（例如电子和中微子）。因此，智慧生命将不得不面对令人不快的可能性——它们体内的质子和中子将最终瓦解。智慧生命的身体将不再由熟悉的100种化学元素组成，在这个巨大的时间跨度上它是不稳定的。智慧生命将不得不寻找创造新躯体的方法，这些新躯体由能量、电子和中微子组成。

在难以想象的10^{100}年之后，宇宙的温度将无限接近于绝对零度。在这个惨淡的未来中，智慧生命将面临终极灭绝。它们不可能栖身于恒星上，故而，它们将会被冻死。但即使在温度接近绝对零度，孤寂寒冷的宇宙中，仍残存着最后一点忽隐忽现的能源——黑洞。根据宇宙学家史蒂芬·霍金的理论，黑洞并非完全是黑的，它会在一段持久的时间内缓慢地向外层空间泄漏能量。

在这个遥远的未来，黑洞也许会变为“生命维护者”，因为它缓慢地释放能量。智慧生命聚集在黑洞的周围，提取来自黑洞释放的能量，以维持他们的机器正常运转。智慧生命像瑟瑟发抖的无家可归的人齐聚在即将熄灭的炉火旁。智慧文明将被迫迁移至紧靠黑洞的可怜的悲惨的边缘地区。[29]

但是，我们可能要问，10^{100}年之后，当蒸发的黑洞耗尽了它们的大部分能量时又会怎样？瑟赛克斯大学天文学家约翰·D．巴罗（John D．Barrow）和伯克利加利福尼亚大学的约瑟夫·西尔克（Joseph Silk）告诫人们，以当今的知识还不能回答这个问题。例如，在那种时间尺度下，量子理论使我们的宇宙“隧穿”到另一个宇宙是具有可能性的。

这类事件发生的概率极小。人们将不得不等待比我们现在宇宙的寿命还要长的时间间隔，才能看到它们发生。因此，我们不必担心在我们的一生中，宇宙会突然坍塌并带来一套新的物理规律。但是，在10^{100}年的时间尺度上，这些罕见的宇宙量子事件不能被排除。

巴罗和西尔克补充道，“哪里有量子理论，哪里就有希望。我们永远

不能完全确定宇宙的热寂将会发生，因为我们永远不能完全确定地预言量子力学宇宙的未来。因为在一个无限的量子未来，任何事情都有可能发生且终将会发生。”



通过更高维度逃离

如果宇宙的平均密度太小，我们将不得不面临宇宙持续无限膨胀并最终冷却的悲惨结局。假设，宇宙的平均密度大于临界值。这意味着，持续数百亿年的膨胀过程将变为大坍缩，宇宙将终结于火而不是冰。

在这种情况下，宇宙中有足够的物质和足够强大的引力使宇宙停止膨胀，然后，宇宙会开始慢慢收缩，使遥远的星系聚在一起。星光将从“红移”变为“蓝移”，表明恒星正迅速地相互靠拢。温度再次上升到天文学极限。最终，热量将会变得足够大，足以将宇宙中所有物质蒸发为气体。

智慧生命将会发现，他们行星上的海洋已被完全蒸发，他们的大气层变为了一个火炉。当他们的行星开始崩溃时，他们会被迫乘坐巨型火箭逃离到外太空。

即便是外太空的避难所，也不一定是友好的居住点。温度持续上升到超过能使原子稳定的那个温度点，电子将挣脱原子核的束缚被剥离出来形成等离子体（像我们在太阳中发现的那样）。在这个温度点上，智慧生命可能不得不建造一个巨大的护盾放置在他们的巨型火箭的外层，用他们所能输出的全部能量阻止他们的护盾在强热中被瓦解。

随着温度的持续升高，原子核中的质子和中子将会剥离出来。最终，质子和中子将被撕裂分解为夸克。像黑洞那样，大坍缩可以吞噬一切，任何东西都不能残存。因此，不用说平常物质，就算智慧生命也不能在这个剧烈的大崩溃中幸存下来。

然而，有一种逃离是可能的。如果所有时空都陷入一场剧烈的火灾，那么，逃离大坍缩的唯一方法是离开时空——通过超空间逃离。这并不像听起来那样不着边际。卡鲁扎-克莱因（Kaluza-Klein）进行的计算机演算和超弦理论表明：在宇宙创生之后，四维宇宙的膨胀是以六维宇宙的牺牲为代价的。因此，四维宇宙和六维宇宙的终极命运是互相联系的。

假设这个观点是正确的，当我们自己的四维宇宙坍缩时，我们的六维孪生宇宙则可能正在膨胀。在我们的宇宙坍缩到无之前，智慧生命可能会认识到那个六维宇宙此时正是开放的，并找到一个办法来利用这一事实。

超时空旅行在今天是不可能的，因为我们的姊妹宇宙已缩小到了普朗克尺度。然而，在我们的宇宙发生坍缩的最后阶段，姊妹宇宙可能是开放的，这或许使空间旅行成为可能。如果姊妹宇宙膨胀充分，那么物质和能量可以逃到其中。聪明机智的能够计算出动态时空的智慧生命将可以制定一个现实可行的逃亡计划。

已故的哥伦比亚大学物理学家杰拉尔德·费因伯格（Gerald Feinberg）曾推测通过额外维度逃避宇宙终极坍缩的这一冒险：

> 目前，这不过是科幻小说中出现的情节。然而，假如所存在的维度确比我们所知道的更多，或者说，在我们居住的四维空间之外还存在其他的四维空间。那么，我认为很可能存在提供他们之间联系的物理现象。可以合理地认为，如果宇宙中的智慧生命坚持努力，他们将在大坍缩之前比数十亿年短得多的时间内，找出这种推测是否合理的答案，并学会如何利用它。



殖民宇宙

几乎所有研究宇宙死亡的科学家，从伯特兰·罗素（Bertrand Russell）到现在的宇宙学家都认为，智慧生命在面对不可逃避的宇宙终极之死时将束手无策。即使是提出智慧生命能穿过超空间，避免大坍缩的理论者也认为，直到坍缩的最终时刻为止，这些生命将一直是被动的牺牲品。

然而，瑟赛克斯大学的物理学家约翰·D．巴罗（John D．Barrow）和图兰大学的弗兰克·J．蒂普勒（Frank J．Tipler）在他们合著的图书《人类的宇宙原理》中，背离传统智慧得出了相反的结论：经过数十亿年的进化，在我们宇宙生命的最后时刻，智慧生命将起到积极的作用。他们的非正统观点认为，在数十亿年间技术将继续呈指数上升，与现有技术成比例地加速。可供智慧生命居住的恒星系统越多，他们就能越多地在这些恒星系统中移居。巴罗和蒂普勒认为，在数十亿年后，智慧生命将占据大部分的可见宇宙空间。但他们又是保守的，他们不认为智慧生命可以掌握超空间旅行的技术。他们最大胆的猜测是，火箭将以接近光速的速度行进。

他们提出的这种观点应该受到重视。分析其原因，火箭以接近光速的速度旅行（用大功率激光发动机推动）到达遥远的恒星系统也许只需要几百年的时间。巴罗和蒂普勒认为，智慧生命的技术水平将在数十亿年间茁壮成长，他们就算用亚光速火箭也有充足的时间占领邻近的星系。这在理论上具有其合理性。

巴罗和蒂普勒假定在没有超空间旅行的情况下，智慧生命可以以亚光速的速度发射上百万个小型“冯·诺依曼探测器”进入空间，寻找可殖民的恒星系统。普林斯顿大学的数学天才约翰·冯·诺依曼在第二次世界大战期间研制了第一台电子计算机。他严格地证明了机器人（或自动机）能自编程，自修复，甚至能创建自身复制品。因此，巴罗和蒂普勒提出，冯·诺依曼探测器的功能在很大程度上独立于它们的创造者。这些小型探测器与前一代的“海盗”和“先锋”探测器大不相同，后者是被动的、预编程的机器，它们服从于人类主人的命令。冯·诺依曼探测器更类似于戴森的宇宙鸡，但相比于宇宙鸡，它更加强大和智能。它们进入新的恒星系统，降落这些恒星系统里的行星上，开采合适的化学物质和金属。然后，它们将创建一个小型的工业综合体，能够制造无数的机器人复制品。它们以这些基地为始发地，继续发射更多的冯·诺依曼探测器，探索更多的恒星系统。

这些探测器是自编程的机器人，不需要接受它们母体的指示；它们将自主地探索上百万的恒星系统，并将它们的发现发送回来。数以百万计的冯·诺依曼探测器遍布银河系，它们“吃”并“消化”每个行星上的化学物质，创建了数以百万计的自己的复制品。在这种情况下，智慧文明将能节约浪费在探索毫无意义的恒星系统上的时间。（巴罗和蒂普勒甚至认为，遥远的文明很可能已发射了冯·诺依曼探测器进入了我们的太阳系。或许，在《2001年：空间奥德赛》影片中出现的神秘巨石，就是地外智慧生命的冯·诺依曼探测器。）

例如，在《星际迷航》系列影片中，探索其他恒星系统的行星联邦是相当原始的。探索的过程完全依靠于为数不多的星船上的人所掌握的技能。虽然这种剧本的戏剧性结果可能有利于激起人们的兴趣，但如果不适合于生命生存的行星数目巨大，影片中的星球探索就显得非常低效。与此相比，冯·诺依曼探测器虽然没有柯克船长或皮卡德船长及船员们的冒险活动那样有趣，但它在事实上更适合于星系探索。

巴罗和蒂普勒对他们的观点还提出了第二个非常关键的假定：宇宙的膨胀最终会慢下来，并在数百亿年后实现倒转。在宇宙的收缩阶段，星系之间的距离将会逐渐减小，这使得智慧生命在星系移居上变得容易。当宇宙加快收缩时，对邻近星系的殖民速度也将加快，直到整个宇宙被完全殖民化。

尽管巴罗和蒂普勒假定智慧生命将遍及整个宇宙，但他们仍无法解释什么样的生命形式能经受难以想象的高温和宇宙收缩期产生的压力。他们承认，在宇宙收缩期将产生巨大的热足以使任何生物蒸发。也许，他们创造的探测器有足够的热阻，能承受宇宙坍缩的终极时刻。



重造大爆炸

艾萨克·阿西莫夫沿着这些线路推测智慧生命面对宇宙的终极死亡会有怎样的反应。阿西莫夫在“最后一个问题”中问了一个古代的问题——宇宙是否必然死亡，以及当我们到达世界末日时所有的智慧生命将会怎样？然而，阿西莫夫认为，当恒星耗尽了自己的氢燃料，温度会骤降到绝对零度，宇宙将死于冰而不是火。

故事将发生于2061年。那时，巨型计算机已可以设计庞大的太阳卫星，它可以将太阳的能量带回到地球，解决了地球的能源问题。模拟计算机巨大且先进，技术人员只是模糊地知道它如何运行。两个喝醉了的技术人员以5美元为赌注，向计算机问询生命可否避免太阳的终极死亡，或问，宇宙是否会与太阳一起死亡。模拟计算机静静地思考后回答：数据不够充分，无法获得有意义的答案。

在未来的数百年后，模拟计算机解决了超空间旅行这个难题，人类开始在成千上万的恒星系统上移居殖民。模拟计算机非常大，以至于它在每个行星上都需要占据几百平方英里的面积。模拟计算机非常复杂，复杂到可以进行自我维修和服务。一个年轻的家庭在模拟计算机准确无误的引导下正穿越超空间，在一个新的恒星系统中搜索居住地。当父亲无意地告诉孩子们恒星最终注定会死亡时，孩子们变得歇斯底里。“不要让恒星死去”，孩子们恳求道。为了使孩子们平静下来，他问模拟计算机，熵是否可以逆转。父亲读着模拟计算机的反应，向孩子们保证道，“看，它能解决任何事情。”他安慰孩子们，“当那个时刻来临，它会照顾一切，所以不必担心。”他并未告诉孩子们，事实上，模拟计算机打印输出的是——数据不够充分，无法获得有意义的答案。

在未来的数千年后，银河系本身已经有了移居者。模拟计算机解决了不朽的难题并学会了如何利用银河系的能量。但为了继续殖民下去，它必须找到新的可居住的星系。模拟计算机非常复杂，以至于没人能明白它具体是如何工作的。要弄清这个问题，也许要等待很久之后了。它不断地重新设计并改进自身的电路系统。银河议会的两位成员，都是几百岁的年纪了。他们争论着如何为银河系寻找新能源的紧迫问题，并希望搞清楚宇宙本身是否正在走向死亡。“熵能逆转吗？”他们向模拟计算机提问。模拟计算机的回答：数据不够充分，无法获得有意义的答案。

在未来的数百万年后，人类已遍及了宇宙的无数星系。模拟计算机已解决了从身躯释放心灵的难题。人的心灵可以自由探索浩瀚的数百万个星系，而他们的身体则安全地存放在一些星球上，哪怕这些星球渐渐

被人们遗忘。两个心灵在外层空间偶然相遇，由于某种原因，他们想弄清楚在无数的星系中人类发源于何处。模拟计算机现在更为巨大了，以至于它的大部分躯体不得不安置在超空间中。模拟计算机的回应是，立即将他们送往一个不起眼的星系。他们很失望。银河系是如此的普通，就像数以百万计的其他星系一样，而那个原始的恒星早已死亡了很长时间了。这两个心灵开始变得焦虑，因为天上的数十亿计的恒星正慢慢地遭遇同样的命运。他们又问，“宇宙的死亡是无法避免的吗？”模拟计算机从超空间中回答：数据不够充分，无法获得有意义的答案。

在未来的数十亿年后，人类社会将由无数个不死的躯体组成，每一个躯体都由一个机器人（自动机）照料。人类的集体意识随意自由地漫步在宇宙中，最终融合成一个单一的思想，进而与模拟计算机本身融合。这时，问“模拟计算机是由什么组成的”或者“模拟计算机被放置在超空间中的什么地方”已没了任何意义。这时的人们已统一了意识，“宇宙正在死亡”。当恒星和星系一个接一个停止产生能量时，整个宇宙的温度接近绝对零度。人们绝望地问，寒冷与黑暗缓慢地吞噬星系是否意味着宇宙的终极死亡。模拟计算机在超空间中回答：数据不够充分，无法获得有意义的答案。

当人类请模拟计算机收集必要的数据时，它作出回答：我将会做这件事。我已经这样做了上千亿年。我的前辈处理器就这个问题已问了自己许多次了。我所拥有的全部数据，尚不够充分。

一个无始无终的时间间隔过去了，宇宙最终进入了死亡阶段。在超空间中，模拟计算机用尽了浑身解数收集数据并沉思这最后的问题。最终，即使不再有任何人提问，模拟计算机还是发现了这个解。它精心编制了一个程序，然后开始逆转混乱的过程。它收集寒冷的星际气体，将死亡的星聚在一起，直到一个巨大的星球被创建为止。

当模拟计算机完成了这件事后，它在超空间中大吼一声：让这里有光！

于是，就有了光——

第七天，它安息了。

15　结论

已知的是有限的，未知的是无限的。我们的智力站在一个充满未知的无边际海洋中的一个小岛上。我们每一代要做的事是开拓更多一点土地。

——托马斯·H．赫胥黎（Thomas H．Huxley）

自然界在其最基本的层次上比任何人所想的都要简单，这一认识或者就是19世纪物理学中意义最深远的发现。虽然十维理论的数学复杂性猛涨到使人茫然的高度，并在这个过程中开创了新的数学领域，但它向前推动统一的基础概念（如高维空间和弦）仍然是最简单的几何概念。

尽管现在就说引入高维时空理论（如超弦理论和卡鲁扎-克莱因理论）是一个伟大的概念革命还为时过早，但是将来的科学史家在回顾混乱的20世纪时或许会这样认为。正如哥白尼用他的一系列中心圆简化太阳系并废黜地球在天体中的中心地位一样，十维理论有希望极大地简化自然规律并废黜三维世界的描述。我们已经看到，关键认识在于世界的三维描述。如“标准模式”太小了，无法将自然的所有基本力统一到一个完善的理论中去。人为地将四种基本力放进三维理论中将产生一个丑陋的、不自然的、不正确的自然描述。

因此，在过去的十年中，占主导地位的理论物理学的主流已经认识到，物理学基本规律在更高的维度中将变得简单。所有的物理规律似乎都可以被统一到十维之中。这些理论允许我们用一种简洁的、优雅的方式简化庞大的信息量。这种方式统一了20世纪两个最伟大的理论：量子理论和广义相对论。下面，我们探讨十维理论对未来的物理和科学的多方面的意义；自然界中还原论与整体论之间的争论；物理、数学、宗教和哲学之间的美学关系。



十维与实验

兴奋与混乱总会伴随伟大理论共同诞生，人们通常忘记在科学世界的任何理论都必须经过实验的检验。无论这个理论看上去如何优雅或美丽，如果它与现实不符，就一定会被判处死刑。

歌德曾经写道，“教条是灰色的，但生命之树常青”。历史已多次证明了他尖锐观察的正确性。科学界存在许多旧的错误理论的例子，它们只是由于愚蠢而出身名门的科学家的威望所维持，而顽固地存在了多年。有时，对这些僵化的资深科学家提出反对意见甚至会带来政治上的风险。但当一些具有决定性的实验将他们的错误暴露时，这些理论仍然难逃淘汰的命运。

例如，赫尔曼·冯·亥姆霍兹（Hermann von Helmholtz）在19世纪的德国非常有名望且影响力巨大，他的电磁理论比麦克斯韦的相对模糊的理论在当时要流行得多。但无论亥姆霍兹有多么知名，最终的实验证实了麦克斯韦的理论，让亥姆霍兹的理论沉默。与此类似，当爱因斯坦提出他的相对论时，纳粹德国的许多有政治权力的科学家，如诺贝尔奖得主菲利普·莱纳德（Philip Lenard）之流对他不断迫害，直到1933年将他逐出柏林。因此，勤恳的工作在任何学科（特别是物理学）中总是由实验家们完成，他们使理论家变得诚实。

麻省理工学院的理论物理学家维克多·韦斯考普夫（Victor Weisskopf），曾总结了理论和实验科学之间的关系。他发现有三种类型的物理学家：机器建造者（他们建造原子加速器并使实验能够进行）、实验物理学家（他们设计并进行实验）、理论物理学家（他们提出解释实验的理论）。之后，他将这三种类型的物理学家与哥伦布去美国的航程进行了比较。他得出结论：

> 机器建造者对应于船长和船舶建设者，他们真正开发了那个时候的技术。实验物理学家对应于船员，他们航行到世界的另一边并跳上新的岛屿将自己所见的事物尽数记录下来。理论物理学家对应于那些留在马德里的人，他们告诉哥伦布他就要在印度着陆了。

然而，如果在十维空间将物理定律统一起来所需要的能量远超我们今天技术水平可用的能量，那么，实验物理学的未来就处在了危险的边缘。过去，每一代新的原子加速器都产生了新一代的理论。这种周期也许即将结束。

假如超级原子加速器在大约2000年底能运行的话，虽然每人都期待着新的惊喜，但也有人正在打赌：它只不过会再次证实我们当今的标准模型是正确的。最有可能发生的是，证明或否定十维理论的判定性实验不能在不久的将来的某个时候完成。我们可能会进入一个漫长的等待期，十维理论的研究将变为纯粹的数学练习。所有的理论都依靠于从实验中获得的力量，就像肥沃的土壤可以滋养和维持扎根生长的一片开花的植物。如果土壤变得贫瘠并干燥，那么，耕植于上的植物将随之枯萎。

戴维·格罗斯（David Gross）是杂化弦理论的创始人之一，他将物理学的发展与两个登山者之间的关系进行了比较：

> 过去，当我们攀登自然之山时，实验物理学家通常会成为领路人，懒惰的理论物理学家通常会成为滞后者。每隔一段时间，实验物理学家偶尔会踢掉一块石头从我们头上掠过。最终，我们会通过这块石头获得灵感，我们将沿着实验物理学家开辟的道路前进……但现在，我们理论物理学家必须带起头来。这是一种非常寂寞的事业。过去，我们总是知道实验物理学家在哪儿，我们的目标是什么。现在，我们对山有多高，顶峰在哪，一无所知。

虽然在传统上，开创新领域的通常都是实验物理学家，但物理学的发展在下一个世纪也许会变得十分困难。它迫使理论物理学家站出来，正如格罗斯所说。

也许原子加速器可能发现新的粒子。希格斯粒子可能会出现，夸克的“超级配偶子”可能会出现，又或者在夸克之下可能发现一个子层。然而，如果这个理论继续有效，那么，束缚这些粒子的基本力将是相同的。我们可能会看到更复杂的杨-米尔斯场和胶子从原子加速器中涌现出来，但这些场可能仅代表较大的粒子和较大的对称组，或代表更大的来自弦理论E（8）×E（8）对称的片段。

在某种意义上，这个理论和实验之间的不稳定关系的起源来自这样一个事实，如威滕指出的，“21世纪的物理不小心掉进了20世纪”。由于理论和实验之间的自然辩证关系在1968年被这个理论的偶然发现所破坏，因此，也许我们要等到21世纪才能期待新技术的到来。到那时，有望开辟新一代的原子加速器、宇宙射线计数器和深空探测器。或许这是我们为违禁“预映”21世纪物理学所必须付出的代价。或许到那时，通过间接的手段，我们可以在实验室里看到第十维度的微光。



十维和哲学：还原论与整体论

任何伟大的理论都会在技术和哲学基础上产生同样巨大的反响。广义相对论的诞生开辟了天文学研究的新领域，实际上，它创造了宇宙学这门科学。大爆炸的哲学意义已在整个哲学界和神学界中发出了回响。数年以前，杰出的宇宙学家与梵蒂冈教皇甚至探讨了大爆炸理论对《圣经》和《创世纪》的启示。

类似地，量子理论催生了亚原子粒子科学的诞生，促进了电子学革命。晶体管这个现代科技社会的支柱，是一个纯粹的量子机械装置。海森堡测不准原理已对自由意志与决定论的争论产生了深远的影响，它影响了教会在罪恶和赎罪上的角色的宗教教义。天主教和基督教都受到了量子力学这一争论的影响，其结果有着重大的思想意义。虽然十维理论的含义还不明朗，但我们最终期望，物理世界正在萌发的这场革命在这个理论变得为大多数人所能理解时，将会产生类似的意义深远的影响。

然而，在一般情况下，大多数物理学家不大愿意谈论哲学。他们是最大的实用主义者。他们偶然发现的物理定律并非依靠计谋和意识形态，而是通过反复的试验和精明的猜想。年轻的物理学家从事大量的研究工作，忙于发现新的理论，而不愿意浪费时间在哲学上。如果年长的物理学家花太多的时间在显贵的政策委员会中任职，或者在科学哲学上大放厥词，年轻的物理学家实际上会对他们不以为然。

大多数物理学家认为，在“真”和“美”的模糊概念之外，哲学无权侵犯他们的私人领域。通常情况下，他们认为，“现实总是被证明”比“任何先入为主的哲学”更复杂和微妙。他们使我们想起一些科学上的著名人物，在他们的晚年开始接受一些尴尬古怪的导致死胡同的哲学思想。

大多数物理学家在面临棘手的哲学问题时会习惯性地耸耸肩，如“意识”在量子测量过程中的作用。只要他们能计算出实验的结果，他们丝毫不在乎其哲学意义。事实上，理查德·费曼（Richard Feynman）几乎将自己的职业生涯全数用于揭露某些哲学家的华而不实的伪装。他认为，他们越花言巧语，越装得有学问，他们立论的科学基础就越弱。（当讨论物理学与哲学的相对价值时，我有时会想起一个匿名的大学校长的话，他分析了它们之间的差异。他写道，“为什么你们物理学家总是要求这么多昂贵的设备？而数学家只要求买纸、笔和废纸桶的钱。而哲学系就更好了，他们甚至连废纸桶都不需要。”）

然而，尽管一般的物理学家不操心哲学问题，他们中最伟大的科学

家还是会受到哲学问题的困扰。爱因斯坦、海森堡和波尔长期进行着激烈的讨论。他们就测量的意义、意识问题、概率的含义，全力思考到深夜。因此，询问高维理论怎样去考虑这种哲学冲突是合理的（尤其是有关“还原论”和“整体论”的争论）。

海因茨·帕格尔斯（Heinz Pagels）曾说，“我们热心于我们的现实体验，我们中的大多数人把我们的希望和恐惧投入到宇宙中”。因此，哲学问题（甚至个人问题）不可避免地闯入到高维理论的讨论中。物理学上高维理论的复兴将不可避免地重新点燃在过去10年时间里时热时冷的“还原论”和“整体论”之前的争论。

《韦氏大学词典》定义“还原论”为“将复杂数据或现象化简为简单的项目的程序或理论”。这是亚原子物理的指导哲学——将原子和原子核缩减为它们的基本成分。例如，标准模型在解释几百个亚原子粒子性质时，惊人的实验成果证明，寻找物质的基本构建块是有价值的。

《韦氏大学词典》定义“整体论”为“决定性因素（特别是现存自然界中的决定性因素）是不可还原的整体的理论”。这一理念认为，西方的哲学将事物打碎成它们的组成部分过度简单化，可能会失去包含重要信息的更大图景。例如，考虑包含成千上万蚂蚁的一个蚁群，它服从复杂的、动态的社会行为规则。问题是：了解蚁群行为的最好方法是什么？还原论者会将蚂蚁打碎成它们的组成要素——有机分子。然而，人们可能需要花上几百年的时间来解剖蚂蚁并分析它们的分子结构。这明显不是发现一个蚁群如何行为的最简单的线索。显而易见的方法是，将蚁群的行为作为一个整体来分析，而不是将其分解。

类似地，这场争论在脑研究和人工智能领域引发了相当大的争议。还原论的方法是将大脑简化到它的终极单位脑细胞，再试图由脑细胞重新组装大脑。人工智能的一种学派认为，通过制造基本的数字电路可以建造越来越复杂的电路，直至创建人工智能。尽管这一学派开始时成功了，在20世纪50年代沿着现代数字计算机的路线模拟“智能”，但最后依然令人失望，因为它不能模拟最简单的大脑功能，如认识照片中的图案。

人工智能的第二种学派采取一种更加整体的方法对待大脑。它试图定义大脑的功能，并创建模型将大脑作为一个整体。虽然这已被证明在起初阶段会非常困难，但它具有巨大的潜力。因为某些我们认为是理所当然的大脑功能（如，容忍错误、衡量不确定性、在不同的对象间建立创造性联系）从一开始就内置于系统中了。例如神经网络理论采用的就是这种有机的研究方法。

这场还原论-整体论之争的各方，都在互相指责贬低对方。在他们互相揭穿对方的狂热图谋中，他们有时甚至会削弱自己。他们经常互揭老底，却不亮出彼此的主要观点。

对这种争论最近的曲解是，还原论者在过去的几年宣布战胜了整体论者。最近，在大众媒体中出现了一阵风似的还原论者的断言，他们声称“标准模型”和大统一理论的成功是将自然化简为更小的更基本的成分这种方法的有力证明。通过探测深入到元素夸克、轻子和杨-米尔斯场，物理学家终于分离出了所有物质的基本组成要素。例如，弗吉尼亚大学的物理学家杰姆斯·S．特菲尔（James S．Trefil）在《还原论的胜利》一文中就出现过对整体论的猛烈抨击：

> 20世纪60—70年代，当粒子世界的复杂性一个又一个在实验中体现出来，一些物理学家背弃了还原论哲学，开始在西方传统以外寻找指导。例如：福来特霍夫·卡普拉（Fritjhof Capra）在他的《物理学之道》一书中提到，还原论哲学已经失败，现在是时候采取一个更全面的神秘的自然观了。……然而，20世纪70年代可以被认为是这样一个时期。在这个时期中，西方科学思想的伟大传统似乎受到了20世纪科学进步的危害，但是它们已经被证明是正确的。可以推断，这种认识将很快从一小群理论物理学家中渗透出去，逐渐被融合进我们的常识之中。

然而，整体论的信徒们扭转了这场争论。他们宣称，统一的思想是整体论而不是还原论，这也许是所有物理学中最大的主题。他们指出，还原论者在爱因斯坦一生的最后岁月中时常在他背后偷笑，说他正变得老态龙钟，还妄想统一世界上的所有力。发现物理学可以统一是爱因斯坦最先提出的想法，而并非还原论者。此外，还原论者无法提供一个令人信服的解决薛定谔猫的佯谬问题。这表明对于更深层的哲学问题，他们只是选择不予理睬的解决方式。还原论者可能已经在量子场论和标准模型上取得了巨大成功，但那些成功仅是建立在沙滩之上。因为量子理论终究是一个不完备的理论。

当然，双方都有优点。每一方都只是在谈论一个难题的不同的方面。然而，这场辩论走向了极端，有时退化为一场我称之为好斗科学对无知科学的战争。

好斗科学以僵化科学观挥舞大棒对待反对者，而不是用友好的劝告的方式对待他们。好斗科学试图在辩论中赢得积分，而不是赢得观众。不是通过展示自己是有见识的分析者和健全的实验捍卫者来吸引观众，而是给别人一种新的西班牙宗教裁判所的感觉。好斗科学是盛气凌人的科学。它的科学家指责整体论是愚笨的，他们的物理学是困惑的，用伪科学的胡言乱语来掩盖自己的无知。因此，好斗科学也许能赢得个别战役，但最终将会输掉战争。在一对一的厮杀中，好斗科学通过夸耀成堆的数据和博学的博士而击败对手。但是，从长远来看，傲慢与自负可能会疏远它原本试图说服的观众，而产生事与愿违的恶果。

无知科学走向相反的极端，它拒绝实验，信奉偶尔出现的一时流行的哲学。无知科学视不合意的事实为纯粹的枝节，视所有哲学为一切。

如果事实不符合哲学，就认为事实是错误的。无知科学是伴随一个预制的议程出现的。它建立在个人行为的结果上而不是客观的观察上，作为一个事后的想法试图使自己符合科学。

这两个派别之间的分裂，最早出现在越南战争时期。那时候，为对付一个农业国而大规模使用致命技术，震惊了年轻力壮的一代。但是，这种似乎合理的争论最近在人们的健康领域再次燃起。例如，在20世纪50—60年代，待遇很高的强大的农业企业和食品工业对美国国会和医疗机构带来了相当大的影响。它们妨碍对胆固醇、烟草、动物脂肪、农药和某些食品添加剂做彻底的检查，它们造成了很大程度上的心脏疾病和癌症患者。

最近的一个例子是围绕苹果中的农药引起的骚动。当环保主义者在国家资源保护委员会宣布，当下苹果中的农药含量水平可以致使5000名儿童死亡，这引发了消费者的关注和愤慨。而食品工业谴责环保主义者危言耸听。后据披露，这个报告是使用了联邦政府的图表和数据后才得出的结论。换言之，这意味着食品和药品管理局为了“可承受的风险”而牺牲了5000名儿童的生命。

此外，铅可能会大范围污染我们的饮用水，它可能使儿童产生严重的神经系统疾病。揭露这件事所起的作用，只是降低科学在大多数美国人心中的威信。医疗行业、食品行业、化工行业，已开始遭到社会上很大一部分人的不信任。这些和其他一些丑闻，都对美国兴起风行一时的健康饮食活动起了推波助澜的作用。健康饮食活动中的绝大多数怀有善意，但也有一些在科学上不健全。



在高维中的高合成

这两种哲学观显而易见难以调和，必须从更大的视野去审视它们。只有以极端的形式看待它们时，它们才会对立。

也许在高维中这两种观点可以得到融合。几何受限于定义几乎不能适合于还原论模式。研究一小股纤维，我们不可能理解整个挂毯。同理，通过隔离一个表面的微观区域，我们也不能确定该表面的整体结构。根据定义，更高的维度意味着我们必须采用更大的全局性观点。

几何也并非纯粹的整体论。我们观测到高维球面是球形的，这种简单观测并未计算其中包含的夸克的性质提供所需的信息。一维空间蜷曲成球的精确方式决定了它表面的夸克和胶子的对称性。因此，整体论本身并未为我们“将十维理论转变为物理学上一个相关理论”提供所需的证据。

高维几何在某种意义上迫使我们认识到整体论方法和还原论方法两者的统一。它们不过是处理同一事物（几何）的两种方式。它们是同一枚硬币的两面。从几何观点来看，我们用还原论方法（在卡鲁扎-克莱因空间组装夸克和胶子）或用整体论方法（采用卡鲁扎-克莱因表面以及发现夸克与胶子的对称性）皆无差别。

我们可能偏爱一种方法胜过另一种方法，但这只是为了历史目的或教学目的。出于历史的原因，我们可能强调亚原子物理学的还原论根源，强调粒子物理学家在一段长达40年的时期里通过对撞原子拼合三种基本力，或者我们可能选择一种更加整体的方法，宣称量子力与引力的最终统一隐含着对几何的深层理解。这引导我们通过卡鲁扎-克莱因理论、弦理论探讨粒子物理学，将标准模型视为把高维空间卷作一团所产生的结果。

这两种方法同样有效。在詹尼弗·特雷纳（Jennifer Trainer）和我合著的书《超越爱因斯坦：探索宇宙理论》中，我们采取了一种更加还原论的方法，描述了在可见宇宙中发现的现象如何最终导致物质的几何特征。在《超空间》这本书中，我们采取了相反的做法，从看不见的宇宙开始，以在更高的维度如何简化自然定律的概念作为基本主题。然而，两种方法产生了相同的结果。

根据类比，我们可以讨论有关“左”脑与“右”脑的争论。神经学家最初实验发现左半球和右半球大脑执行着明显不同的功能，但大众媒体严

重歪曲了他们的数据。实验中，他们发现当一个人看一张图片时，左眼（或右脑）更注重细节，而右眼（或左脑）更容易掌握整个照片。然而，当科普专家开始说左脑是“整体论大脑”和右脑是“还原论大脑”时，神经学家变得心绪烦乱。他们认为这是脱离实际地理解左右脑的差别，它会对人在日常生活中应如何组织自己的想法做出许多匪夷所思的解释。

他们发现了一个更正确的研究大脑功能的方法，大脑在同步过程中必然使用两个部分，即大脑两个半脑的辩证法比单独每一个半脑的具体功能更重要。当两个半脑和谐互动时，真正有趣的动态变化发生了。

类似地，在物理学的最新进展中，如果一个人认为某种哲学好某种哲学不好，很可能是他的实验数据读得太多了。也许，我们可以得到的最可靠的结论是，科学受益于这两种哲学之间的强烈互动。

让我们具体看看两种哲学之间的强烈互动如何发生，分析更高维度的理论如何给出截然相反的哲学之间的解答，我们用了两个例子，薛定谔的猫和S矩阵理论。



薛定谔的猫

整体论的信徒们有时通过攻击量子理论的最薄弱环节（薛定谔的猫的问题）来攻击还原论。因为还原论者不能就这个量子力学悖论给出一个合理的解释。

我们记得量子理论最尴尬的特征在于，需要一个观察者进行测量。因此，在观察进行之前，猫可能是死的也可能是活的；月亮可能在天上也可能不在天上。通常，这会被认为是痴人说梦，但量子力学已多次在实验室得到验证。由于整个测量的过程需要一个观察者，而观察者需要意识，所以整体论认为，必须有宇宙意识才能解释任何物体的存在。

高维理论并不能完全解决这个难题，但却对此有一个新的见解。问题在于观察者和被观察者之间的区别。然而，在量子引力中，我们写下了整个宇宙的波函数。观察者和被观察者之间没有什么区别，量子引力只允许一切事物的波函数存在。

在过去，这样的声明是毫无意义的，因为量子引力并未作为一种理论而存在。每当有人想进行物理上的相关计算时，分歧就会出现。因此，整个宇宙的波函数概念虽然吸引人但却没有意义。然而，随着十维理论的出现，整个宇宙的波函数的意义再次成为一个切题的概念。宇宙波函数的计算可以诉诸这样一个事实，即该理论最终是一个十维理论且是一个可以重整化的理论。

这种部分解决观测问题的方法，又一次充分利用了两种哲学之长。一方面，这种解释遵循还原论，因为它严格遵循量子力学对现实的标准解释，不依靠于意识。另一方面，这种解释遵循整体论，因为它从整个宇宙的波函数出发，这是最终的整体表达！这种解释不区分观察者和被观察者。在这种解释中的所有的东西（所有的物体和它们的观察者）都包含在波函数中。

这仅是一个局部的解决方案，因为宇宙波函数本身并不处于某一确定的状态中，事实上，它是所有可能宇宙的某种组合。因此，最早由海森堡发现的测不准原理，现在被扩展到了整个宇宙。

在这些理论中，人们可以处理的最小单元是宇宙本身，可以量子化的最小单元是所有可能的宇宙组成的空间（所有可能的包括死猫和活猫的宇宙空间）。因此，在某一个宇宙中，猫的确死了；但在另一个宇宙中，猫还活着。然而，两个宇宙驻留在同一个家园：宇宙波函数。



S矩阵理论的孩子

具有讽刺意味的是，在20世纪60年代，还原论方法看起来像是败局已定；量子场论由于在摄动展开中发现的分歧而千疮百孔，成为了没有希望的不解之谜。由于量子物理学的混乱，一个被称为S矩阵（散射矩阵）的物理学分支脱离主流并开始发展。这个物理学分支最初由海森堡创立，后由加州大学伯克利分校的乔弗利·丘（Geoffrey　Chew）进一步发展。S矩阵理论不同于还原论，它试图将粒子散射看作一个不可分割的、不可还原的整体。

原则上，如果我们知道了S矩阵，我们就知道了粒子相互作用的一切，以及它们是如何散射的。在这种方法中，粒子是如何彼此碰撞并结合在一起的就是一切，单个粒子什么也不是。S矩阵理论认为，散射矩阵的自洽性（单靠自洽性）就足以确定S矩阵。因此，基本粒子和场被永远排除出了S矩阵理论的伊甸园。在最终的分析中，只有S矩阵有物理意义。

作为一种类比，给我们一台复杂的、外表奇特的机器，要求我们对它的功能作出解释。还原论者会立刻取出螺丝刀，将机器分解。他们试图通过将机器分解来了解机器的功能。然而，如果机器的构造太复杂，拆开它也许会使情况更糟。

然而，整体论者不想把机器拆开，有如下几个原因。首先，将机器分解为成千上万的齿轮和螺丝钉也许对我们了解机器并无帮助。其次，试图解释每个小齿轮如何工作也许是一种徒劳无益的举动。他们认为，正确的方法是将机器看作一个整体。他们开动机器，并了解零件如何运动以及相互作用。用现代语言来说，这台机器就是S矩阵，而这种哲学就变为了S矩阵理论。

然而1971年，随着杰拉德·特·胡夫特（Gerard't　Hooft）发现杨-米尔斯场可以提供一个自洽的亚原子力理论，形势朝着支持还原论的方面发生了戏剧性的变化。每一种粒子互相作用突然像森林中的巨树那样轰然倒下。杨-米尔斯场给出的结果与原子加速器得出的实验数据具有不可思议的一致性，这导致了标准模型的建立，而S矩阵理论陷入越来越模糊的数学领域。到了20世纪70年代末，这似乎是还原论战胜整体论和S矩阵理论的不可逆转的胜利。还原论者开始宣布对无能为力的整体论和S矩阵的团体取得胜利。

然而，在20世纪80年代，潮流再次改变。随着大统一理论的失败，

物理学家不能对引力得出任何认识，也不能从实验中得出任何可证实的结果，物理学家们开始寻找新的研究方法。这种对大统一理论的背离始于一个新的理论，这个新理论的存在要归功于S矩阵理论。

1968年，S矩阵理论处于鼎盛期，韦内齐亚诺（Veneziano）和铃木（Suzuki）深深地为在整体上确定S矩阵的哲学所影响。他们为了寻找整个S矩阵的数学表达，偶然发现了欧拉β函数。如果他们寻找还原论的费曼图，就绝不会无意中撞上过去几十年中最伟大的发现之一。

20年后，我们看到由S矩阵理论栽下的种子正在开花。韦内齐亚诺-铃木理论分娩出弦理论，它又通过卡鲁扎-克莱因被重新解释为宇宙十维理论。

因此，我们看到的十维理论横跨两个传统。它作为整体论S矩阵理论之子出生，但它又包含了还原论的杨-米尔斯理论和夸克理论。实质上它已相当成熟，因而可以吸收这两种哲学。



十维和数学

超弦理论的一个有趣的特点是，数学水平飙升的高度。在科学上还没有其他理论在如此基础的水平上使用如此强大的数学。从事后来看，这是必须的，因为任何统一的场论首先必须吸收爱因斯坦理论的黎曼几何和产生于量子场论的李群（Lie group），然后必须融合一个更高级的数学使它们协调。融合这两个理论的新的数学是拓扑学，它负责完成那项看起来不可能完成的任务，即废除量子引力理论的无限性。

突然将高级数学通过弦理论引进物理让很多物理学家措手不及。不止一个物理学家偷偷跑到图书馆查阅数学文献以理解十维理论。欧洲核子研究中心（CERN）的物理学家约翰·艾利丝（John EIlis）就承认，“我走遍了书店寻找数学百科全书，以抓紧了解同源性、同伦这样一些数学概念，攻读以前我从来不想费心去学的所有的这类东西！”对于那些担心在本世纪中数学和物理的分歧会日益扩大的人，这本身就是一个令人高兴的历史事件。

从传统上讲，数学家和物理学家自希腊时代就难以分割开来。牛顿和他的同时代的人从不将数学和物理进行明显的区分。他们称自己为自然哲学家，他们对数学、物理和哲学世界都充满兴趣且对它们感到亲切。

高斯、黎曼和庞加莱都认为物理是新数学的最重要的源泉。在18—19世纪，数学和物理之间有大量交流。但在爱因斯坦和庞加莱之后，数学和物理的发展出现了急转弯。在过去的70年中，数学家和物理学家之间很少出现真正的沟通，即使有也非常少。数学家研究N维空间的拓扑结构，开发新的学科，如代数拓扑学。数学家进一步深化高斯、黎曼和庞加莱的工作，在过去的世纪建立了数量惊人的抽象的与弱力或强力没有联系的定理和推论。然而，物理学开始使用在19世纪已知的三维数学探索核力。

所有这一切都随着第十维度的引入而改变了。相当突然，过去的一个世纪的数学兵工厂被纳入物理世界。数学家们长期以来一直珍视的数学中的强有力的定理现在具有了物理意义。现在，似乎数学和物理之间的鸿沟被填平了。事实上，即使是数学家也为大批新数学被引入到物理学中而大吃一惊。一些杰出的数学家，如麻省理工学院的伊萨多·A．辛格（Isadore A．Singer）曾声明，或许超弦理论应该作为数学的一个分支，不论它是否与物理相关。

没有人会怀疑为什么数学和物理是如此地交织。量子理论创始人之一，物理学家保罗·A．M．狄拉克（Paul A．M．Dirac）指出：“如果我们只是遵循物理思想本身，数学就可能引导我们走向未知的方向。”

20世纪最伟大的数学家阿弗烈·诺夫·怀海德（Alfred North Whitehead）曾说，在最深的层次上，数学与物理是不可分离的。然而，对于这种不可思议的趋同现象的准确理由，看起来全然不清。似乎没有合理的理论解释为什么两个学科可以分享概念。

人们常说“数学是物理学的语言”，例如，伽利略曾说：“如果不懂宇宙的语言，就没人能读懂宇宙这本伟大的书，这个语言就是数学语言。”但这引出了一个问题：“为什么？”此外，如果数学家所研究的整个学科被降低为语义学，他们会感到自己受到了侮辱。

爱因斯坦注意到了这个关系，评论道，纯粹的数学也许是解决物理学之谜的一条大道：“我坚信，纯粹的数学结构可使我们发现概念以及连接这些概念的定律，它为我们提供理解自然的钥匙……因此，在某种意义上，我认为纯粹的思想能够抓住现实，正如古人所梦想的那样。”海森堡作出了自己的回应：“如果自然引导我们到极简单和美丽的……在此之前还没人触碰过的数学形式上去，那么，我们会情不自禁地相信数学形式是‘正确’的，它们揭示了自然的真谛。”

诺贝尔奖得主尤金·维格纳（Eugene Wigner）曾写过一篇文章论述这个问题，其文章的题目直截了当——“数学在自然科学中的毋庸置疑的有效性”。



物理原理和逻辑结构

多年来，我观察到数学和物理服从某些辩证的关系。物理不只是费曼图和对称性的一个盲目的随机的结果，数学也不只是一组混乱的方程，物理和数学服从一定的共生关系。

我认为，物理学最终是建立在一些基本物理原理之上的学科。这些基本的物理原理通常可以用普通的英语表达，而无需引用数学。哥白尼理论、牛顿运动定律、爱因斯坦的相对论，这些基本物理原理通常可以用几句话来描述，它们在很大程度上独立于任何数学。值得注意的是，只要少数几个基本物理原理就足以总结大部分现代物理。

相反，数学是所有可能的自洽结构的集，数学比物理原理拥有更多的逻辑结构。任何的数学系统（如算数、代数、几何）都具有一个重要特征，它的公理和定理彼此一致。数学家主要关注的是这些体系之间不要产生矛盾，他们对某个体系比另一个体系更优越的问题并不关心。他们认为，存在很多的自洽结构，这些自洽结构都具有研究价值。因此，数学家比物理学家分散得多，某个领域的数学家的工作通常与其他领域的数学家的工作相隔千里。

物理（基于物理原理）和数学（基于自洽结构）之间的关系现在是显而易见的：为了解决物理原理，物理学家可能需要很多的自洽结构。因此物理学自动地连接了很多不同的数学分支。从这个角度看，我们就能理解理论物理学中的伟大思想是如何演变的。例如，数学家和物理学家都声称艾萨克·牛顿是他们各自行业的巨头之一。然而，牛顿研究引力并非始于数学角度。对落体运动的分析，使他相信月球正不断地落向地球。但月球永不会与地球相撞，是因为在它下方的地球是曲面的。地球的曲率补偿了月亮的下落。因此，他受其启发提出一个著名的物理原理——万有引力定律。

但是，牛顿无法对引力方程求解，因此他开始了为期30年的探索。他的目的是创立一种新的数学，它的作用大到足以对引力方程求解。在这个过程中，他发现了许多自洽结构，它们合起来统称为微积分。从这个角度来看，物理原理是第一位的（引力定律），然后才开始构造解方程所需要的各种不同的自洽结构（如解析几何、微分方程、导数、积分）。在这个过程中，物理原理将这些自洽结构统一为一个一致的数学体（微积分）。

同样的关系也适用于爱因斯坦的相对论。爱因斯坦也是从物理原理

（如光速、引力等效原理）出发的。然后，通过搜索数学文献发现自洽结构（李群、黎曼张量微积分、微分几何）以求解方程。在这个过程中，爱因斯坦发现了如何将这些数学分支连接成一个连贯的图像。

弦理论也印证了这种模式，但其所用的方式却惊人地不同。弦理论具有较强的数学复杂性，它将众多的不同的数学分支［如黎曼表面、卡克·穆迪（Kac　　Moody）代数、超李群代数、有限群、模函数和代数拓扑］连接起来，让数学家们大吃一惊。与其他物理理论一样，弦理论自动地揭示了许多不同的自洽结构之间的关系。然而，弦理论背后的物理原理是未知的。物理学家希望一旦这个原理被揭示出来，人们将在这个过程中发现一个新的数学分支。换句话说，弦理论之所以不能求解，其原因是人们还未发现21世纪的新数学。

这种表述的一个结果是，统一许多基本物理理论的物理原理，必须自动统一许多貌似不相干的数学分支。这正是弦理论要完成的事情。事实上，在所有的物理理论中，弦理论统一了迄今为止最多的数学分支于一个自洽的绘景中。也许，数学的统一将是寻求物理学统一的一个副产品。

当然，逻辑一致的数学结构集比物理原理集要大得多。因此，一些数学结构，如数论（一些数学家称其为纯粹的数学分支）就从未被纳入到任何物理理论。一些人认为，这种情形可能永远存在：也许人类的思维总能构想出逻辑上一致的结构，它们不能通过任何物理原理表达出来。然而，有迹象表明，弦理论在不久的将来，也许能将数论合并到它的结构之中。



科学与宗教

由于超空间理论开辟了物理学与数学之间全新的、意义深远的联系，所以一些人谴责科学家基于数学创建了一种新的神学。即，我们拒绝宗教神话，却信奉一种建立在弯曲时空、粒子对称性和宇宙膨胀上的更加怪异的宗教。当牧师用拉丁语念叨那些几乎无人能理解的咒语时，物理学家则在念叨着几乎无人能理解的神秘的超弦方程。对万能上帝的“信仰”，现在被对量子理论和广义相对论的“信仰”所取代。当科学家断言，我们的数学咒语可以在实验中得到检验时，所获得的回应是“创世”不能在实验室中被检验，因而，这些像超弦那样的抽象的理论是不能被实验检验的。

这场辩论并不新鲜。历史上，科学家们经常被要求与神学家辩论自然法则。例如，英国伟大的生物学家托马斯·赫胥黎（Thomas Huxley）是19世纪末反对教会批评的达尔文的自然选择理论的捍卫者。同样，量子物理学家也已出现在电台与天主教会的代表们展开辩论。论题是海森堡的测不准原理是否否定了自由意志。需要确定的一个问题是，我们的灵魂是上天堂还是下地狱。

但是，科学家们通常不愿介入关于上帝和创世的神学辩论。我发现，一个问题在于，“上帝”对不同的人来说有着不同的解。使用含蓄的充满了不可言说的、神秘象征的语言，只会将辩论弄得更加模糊。为了在一定程度上澄清这个问题，我发现仔细区分“上帝”这个词的两种含义是有意义的。将上帝区分为“奇迹上帝”与“普通上帝”是有益的。

当科学家使用“上帝”这个词时，他们通常指的是“普通上帝”。例如，爱因斯坦童年时期最重要的一次天启，发生于他阅读了一本关于科学的书。他立即认识到，他所接受的关于宗教的教育大部分不大可能是真的。然而，在他的整个职业生涯中，他始终坚持宇宙存在着神秘的神圣的秩序。他说，他一生的欲望是搜索上帝的想法，以确定在创造宇宙时上帝是否作了任何选择。爱因斯坦在他的作品中多次提到这点，并亲切地称呼其为“老人”。每当遇到棘手的数学问题，他总会说，“上帝是微妙的，但没有恶意”。可以有把握地说，大多数的科学家相信宇宙中存在某种形式的宇宙秩序。然而，对普通人来说，“上帝”这个词几乎遍指“奇迹上帝”。这是科学家与非科学家之间无法沟通的原因。“奇迹上帝”干预我们的事务、创造奇迹、摧毁邪恶的城市、打击敌人、淹没法老的军队，为纯洁和高尚复仇。

科学家与非科学家无法在宗教问题上相互沟通，这是因为他们各执

一词，他们谈论的是完全不同的上帝。这是因为，科学的基础建立在可观测的可重复事件上，但奇迹，顾名思义是不可重复的。奇迹如果发生，通常一生只有一次。因此，“奇迹上帝”在某种意义上超出了我们所知的科学。当然，这里并非是否定奇迹的存在，仅是说它处于通常所称的科学之外。

哈佛大学的生物学家艾德华·O．威尔森（Edward O．Wilson）对这个问题感到困惑。他曾这样问道，“有无一种科学的理由，解释人为何会狂热地坚持他们的宗教信仰。”他发现，即便是那些训练有素的科学家，他们在自己的科学专业中通常是理性的，但他们在替自己的宗教信仰辩护时往往容易陷入非理性的争论。而且，他注意到，宗教在历史上通常被用来作为一种借口，针对无宗教信仰者或异教徒发动骇人听闻的战争和施行令人发指的暴行。事实上，宗教的战争或圣战的残酷性远超最严重的犯罪行为。

威尔森指出，宗教在地球上所有的文化中都普遍存在。人类学家发现所有的初始部落都有一个“原始”神话，以解释他们的起源。此外，这个神话明显地将“我们”从“他们”中分离出来；这个神话产生了一种凝聚力（通常是不合理的），以维护部落和压制针对首领的批评。

这并非异常的，而是人类社会的常规。威尔森分析道，宗教之所以如此盛行，是因为在人类的早期信仰中它具有一定的发展优势。威尔森指出，成群捕猎的动物服从于头领，是由于力量建立的优势确立了群的次序。但是，大约100万年前，当我们的猿类祖先逐渐变得更加智能时，个体可以理智地开始挑战头领的权势。智能，就其本质而言，即通过推理质疑权威。因此，对部落而言，这也许是一种危险的瓦解人心的力量。除非有一种力能遏制这种蔓延的混乱，否则智能的人会离开部落，部落随之会土崩瓦解，所有的个体最终将走向死亡。因此，根据威尔森的观点，智能猿不得不被迫停止质疑并盲目服从头领和头领的神话。否则，部落的凝聚力就会遭到破坏。可以理性使用工具并收集食物的智能猿类相较于其他较低等的个体已拥有了较多的生存机会，当他们面临较大威胁时，部落完整性为他们提供了更多的生存机会。因此，从进化的角度，神话对限定并保存部落成为了必须。

猿类逐渐变得更加智能，形成了一种把他们合在一起的“胶”。对威尔森来说，宗教对于这些猿类是一种非常强大的、能维护生命的力量。如果这个理论是正确的，就可以解释为何如此多的宗教依赖“信仰”而不是常识，为何群众要求暂停质疑。它还有助于解释宗教战争的野蛮暴行，为什么“奇迹上帝”总是看起来偏袒血腥战争中的胜者。“奇迹上帝”较“普通上帝”有着更强大的优势。“奇迹上帝”解释了为什么在宇宙中有神话的存在。在这个问题上，“普通上帝”沉默不语。



我们在大自然中的角色

虽然“普通上帝”不能给人类一个共享的命运或目标，但是我个人发现，关于这场讨论最令人吃惊的是我们人类自己。我们人类刚开始攀登技术的高峰，就能提出有关宇宙起源和人类命运的大胆主张。

在技术上，我们刚掌握了摆脱地球的引力；我们刚学会将原始的探测器送到行星之外。我们虽然被囚禁在自己的小星球上，但仅用我们的头脑和一些工具，我们已能够破译数十亿光年之外的物质的定律。我们以无穷小的资源，在尚未离开太阳系的前提下，已能确定恒星核炉深处发生的演化。

根据进化论，我们是刚离开树的智能猿。我们居住在距离太阳从近至远的第三颗行星上。太阳位于银河系的螺旋臂上，银河系处在室女座星系团中。如果膨胀理论是正确的，那么整个可见的宇宙不过是一个大宇宙中的一个无穷小的泡泡。鉴于我们在大宇宙中充当的角色几乎微不足道，我们似乎应该吃惊于我们竟能宣称自己已发现了万物理论。

诺贝尔奖得主伊西多·I．拉比（Isidor　I．Rabi）曾被问及，在他的一生中是什么事首先促使他迈上了揭露自然奥秘的漫漫旅程。他回答道，那发生于他在图书馆里查阅了一些行星的书籍的时候。使他着迷的是，人类的头脑竟能认识宇宙的真理。宇宙中，不少行星和恒星都大于地球，人们通往这些行星和恒星的距离也如此遥远，但人们的头脑竟然可以认识它们。

物理学家海因茨·帕格尔斯（Heinz　Pagels）陈述了他还是一个孩童时在纽约参观海登天文馆的重要经历，他回忆道：

> 动态宇宙的戏剧性和力量将我彻底制服。我了解到，单个星系所包含的恒星数量似乎比地球上居住的人类还多……宇宙浩瀚而漫长这一现实引起了一种“关乎人类存在”的冲击，震撼了我的心灵。我所经历的或知道的一切，放在宇宙的浩瀚海洋中似乎是那么的微不足道。

我没有被宇宙压倒，我认为这也许是一个科学家具有的深切的体验。几乎接近于宗教的觉醒，我认识到我们是恒星之子，我们的头脑能够理解它们所遵从的宇宙规律。我们身体内的原子诞生于太阳系之前，在爆炸的恒星内由核聚变锤炼而成。我们的原子比山脉更古老，我们由星际尘埃所造就。现在，这些原子合并成智能的人，能够理解控制这些

事件的普遍规律。

我发现的激动人心的是，在我们的极小的微不足道的行星上发现的物理定律与宇宙别处发现的定律相同。而这些定律还是在我们从未离开过地球的前提下发现的。没有强大的星际飞船，也没有空间维度窗口，我们已经确定了恒星的化学特性，并揭示了发生在它内核深处的物理反应。

最后，如果十维超弦理论是正确的，那么，在遥远的恒星系统上另一个繁荣的文明将发现有关宇宙的相同的真理。他们也想弄明白大理石与木头的关系，并得出结论——传统的三维世界“太小”，不能容纳世界上已知的力。

我们的好奇心是自然秩序的一部分。或许，作为人类的我们思索着理解宇宙，在某种程度上与鸟想唱歌相似。17世纪伟大的天文学家开普勒曾说道，“我们不应该问鸟儿唱歌的目的，因为唱歌是它们的乐趣，它们是为唱歌而创造的。与此类似地，我们也不应该问为什么人类总想探索太空中的奥秘。”又或者，如生物学家托马斯·H．赫胥黎（Thomas H．Huxley）在1863年的话，“对于人类而言，所有问题的关键是，决定人类在大自然中的地位及其人类与宇宙的关系的问题”。

宇宙学家霍金曾谈到，要在20世纪以内解决统一问题，就必须向最广泛的听众解释构成物理学基础的基本物理绘景。他雄辩地写道：

> 如果我们发现了一个完整的理论，它就应该被每一个人广泛地理解（只是时间早晚），而不只是局限在少数的科学家中。接着，所有的人，哲学家、科学家、普通人，都将参加到这个讨论中来——我们和宇宙为什么存在。如果我们找到了这个问题的答案，那么，它将是人类理性的最终胜利——因为，从此以后我们将了解上帝的心智。

在宇宙尺度上，我们还需继续了解我们周围的越来越大的世界。虽然我们的智力是有限的，但我们仍然可以抽象地理解自然深处的奥秘。

这会使生活赋予意义或目的吗？

有些人通过个人利益、个人关系、个人经历，寻求自己人生的意义。然而，在我看来，有幸能得到领悟自然之终极奥秘的智慧，才赋予了生命充分的意义。

注释

前言

[1] 这是一个崭新的课题，以至于在理论物理学家提到高维理论时，这个术语还未被普遍接受。尽管人们谈论高维时，广泛地使用“超空间”这一术语，且对高维几何对象来说“超”也是正确的科学前缀。但从专业上讲，当物理学家提到高维理论时，他们通常会更具体地指明是何种理论。例如：卡鲁扎-克莱因理论、超引力或者超弦。我坚持了流行的习惯，用“超空间”这个词来谈论高维。

第1章

[2] 这个难以置信的小距离将在这本书中不断重现。它是任何引力量子理论的典型的基本尺度。道理很简单。在任何引力理论中，引力的强度皆是用牛顿常数来测量的。然而，物理学家使用了一组简化的单位。在这套单位中，光速c被设置为1。这意味着1秒相当于186000英里（3×10^8米）。另外，普朗克常数与2π相除也等于1，这样在秒和能量单位尔格之间建立了一种数值关系。在这些奇怪但又方便的单位中，所有东西（包括牛顿常数）都可以简化到厘米。当我们计算这个与牛顿常数相关的长度时，它恰好是普朗克长度，即10^{-33}厘米或10^{27}电子伏特。因此，所有的量子引力效应都是以这个极小的距离来衡量的。特别是，这些看不见的更高维度的尺寸就是普朗克长度。

第2章

[3] 这一事件很可能引发了黎曼早期对数论的兴趣。几年后，他对数论中涉及zeta函数（ζ函数）的某些公式做出了一个著名的推测。世界上最伟大的科学家与“黎曼假设”搏斗了100年，也没能找到任何证明。我们最先进的计算机也不能给我们提供任何线索。黎曼假设现已作为数论中（或许所有的数学中）最著名的未被证明的定理载入史册。贝尔曾指出，“无论是谁，只要能证明黎曼假设成立或不成立，都将获得莫大的荣耀”。

[4] 虽然黎曼被认为是最终打破欧几里得几何限制的人，但发现高维几何的人应该是黎曼年迈的导师——高斯。

1817年，黎曼出生前将近10年，高斯私下表达了他对欧几里得几何的深深不满。在给他的朋友天文学家海因里希·奥伯斯（Heinrich Olbers）的预言信中，他明确指出欧几里得几何学在数学上是不完整的。

1869年，数学家杰姆斯·J．西尔维斯特（James J．Sylvester）记载，高斯曾认真考虑过高维空间的可能性。高斯想象了可以完全生活在二维的纸张中（他称之为“书虫”）的生物的特性。然后他推广这个概念到包括“能够认识四维或更多维度空间的生物”。

人们也许会疑问，高斯在建立更高维度的理论上比其他人早10年，那为什么他又错过了打破三维欧几里得几何的历史性机会呢？历史学家注意到高斯在他的工作、政治和个人生活中具有非常保守的倾向。事实上，他从未离开过德国，几乎在一个城市度过了一生。这也影响了他的职业生涯。

1829年的一封透露性的信中，高斯向他的朋友弗里德里希·威廉·贝塞尔（Friedrich Bessel）承认，他永不会出版他关于非欧几里得几何的著作。因为高斯害怕这会在“愚蠢的人”中引起争议。数学家莫里斯·克莱恩（Morris Kline）写道，“高斯在1829年1月27日写给贝塞尔的信中说，他永远不会公布他在这个问题上的发现，因为他害怕嘲笑。或如他所说，他害怕‘愚蠢的人’（比喻一个愚蠢的希腊部落）的吵闹”。高斯很害怕老的、守旧的、狭隘的相信三个维度是神圣的“愚蠢的人”，因此，他隐藏了他的一些最好的著作。

1869年，西尔维斯特在访问了高斯的传记作家萨特里厄斯·冯·瓦尔德斯豪森（Sartorius von Waltershausen）后写道，“这个伟大的人常说，他把几个已解析的论述过的问题搁置起来，希望等到他的空间概念被扩展时将它们应用到将来出现的几何方法中。因为，正如我们可以设想出只拥有二维空间概念的生命（像一张无限薄的纸片上变得无限纤细的书虫），我们也可以想象出能认识四维或者更高维空间的生命”。

高斯写信给奥尔伯斯，“我越来越相信，欧几里得几何的物理必然性不能被证明，至少不能被人类的推理证明。也许其他的生命形式能够洞察我们现在可望而不可即的空间的性质。到那时，我们一定不要把几何和算数放在同一课堂上，而要把它和力学放在同一课堂上”。

事实上，高斯十分怀疑欧几里得几何，以至于他甚至进行过一个巧妙的试验来检验它。他和他的助理爬上三个山峰：罗肯山（Rocken）、霍赫海根山（Hohehagen）、英塞尔斯伯格山（Inselsberg）。站在其中一个山峰上，可以清楚地看到另外两个山峰。在三个峰之间画一个三角形可以实验测量三角形的内角。如果欧几里得几何是正确的，那么内角之和应是180度。让他失望的是，他的试验发现这个三角形的内角之和正好是180度（正负15分）。他的测量设备的粗略性使他无法肯定地证明欧几里得是错的。（今天，我们认识到这个实验必须在三个不同星系之间测量才能检测出可观的偏离欧几里得的结果。）

我们还应指出，数学家尼古拉斯·I．罗巴切夫斯基（Nikolaus I．Lobachevski）和亚诺什·波利耶（Janos Bolyai）独立地发现了定义在曲面上的非欧几里得几何。但是，它们的构建仅局限于通常的低维上。

[5] 英国数学家威廉·克利福德（William Clifford）翻译了黎曼在1873年进行的著名的“自然”演讲，放大了黎曼的很多学术思想。他也许是第一个将黎曼的思想扩大为电磁力是由于空间的弯曲造成的的人。这也使得黎曼的工作具体化。克利福德怀疑在数学和物理中发现的两个神秘现象——高维空间和电磁——实际上是同一件事情，即电磁力是由高维空间的弯曲引起的。

这是首次有人怀疑“力”是由空间本身的弯曲所产生的，比爱因斯坦早了50年。克利福德提出的“电磁力是由四维空间的振动所引起”的思想也超前于试图用高维解释电磁力的卡鲁扎。克利福德和黎曼预言了20世纪科学家的发现，即高维空间的意义是，它能为力给出简单而优雅的描述。首次有人正确地得出高维的真正的物理意义，即超空间理论实际给我们各种力的统一的描述。

数学家杰姆斯·西尔维斯特（James Sylvester）记录了这些先知的观点，他在1869年写到，“克利福德先生已沉迷于一些奇怪的推测之中，这些推测是，我们能否从某些无法理解的光和磁现象推断出我们所在的三维空间正在四维空间中被扭曲……就像一张纸被皱褶而产生扭曲”。

1870年，在克利福德写了一篇非常吸引人的文章——“论物质的空间理论”。他在文章中明确地写道，“空间曲率的变化在我们称之为物质运动的现象（无论是可测量的或是空灵的）中确有发生”。

[6] 更确切地说，在N维中g黎曼度规张量是一个$N\times N$矩阵，它确定了两个点之间的距离。比如两个点之间的无穷小距离由$ds^2 = \Sigma dx_{\mu} g_{\mu\gamma} dx_{\gamma}$给出。在平展空间的极限情况下，黎曼度规张量变成对角线，即$g_{\mu\gamma} = \delta_{\mu\gamma}$，因此该公式简化为N维中的毕达哥拉斯定理（勾股定理）。度规张量与$\delta_{\mu\gamma}$的偏差粗略地讲是该空间偏离平面空间的度量。从度规张量可以构造黎曼曲率张量，由$R^{\beta}_{\mu\gamma\alpha}$表示。

任何给定点上的空间曲率都可以通过在那个点画一个圆并测量圆内的面积来确定。在平面二维空间中，圆的面积为πr^2。但是，如果曲率是正的，如在球体中，该面积小于πr^2。如果曲率是负的，如马鞍或喇叭，该面积大于πr^2。

严格地说，按照这个惯例，一张皱褶的纸的曲率是零。这是因为画在这张皱褶纸上的圆面积仍然等于πr^2。在黎曼的由纸的皱褶产生力的这个例子中，我们隐含地假定了纸是扭曲的、伸展的、折叠的，因此曲率为非零。

[7] 1917年，爱因斯坦的一个朋友物理学家保罗·埃伦费斯特写了一篇题为“空间有三个维度的物理学定律以何种方式变得明了？”的文章。埃伦费斯特问自己，行星是否可能在高维空间中。例如，我们离蜡烛越远，蜡烛的光就会变得越暗淡。同理，当我们距离星星越远时，星星对我们的引力就变得越微弱。根据牛顿的说法，引力按照平方反比定律变弱。如果我们离开一个蜡烛或星星的距离增加1倍，那么光线或引力就会变为原来的1/4。如果我们把距离增加3倍，它就会变为原来的1/9。

如果空间是四维的，那么烛光或重力会变弱得更为迅速，将与三次方呈反比。将蜡烛或星星的距离增加1倍会使烛光或引力变为原来的1/8。

太阳系能存在于这样一个四维世界中吗？在原则上是可以的，但这些太阳系中的行星的运行轨道会变得不稳定。即便最微弱的震动也会使行星的轨道坍缩。随着时间的推移，所有的行星都会偏离通常的轨道，并坠入太阳。

同理，因为引力会使太阳被挤碎，所以太阳也不可能存在于更高的维度。引力平衡了使太阳分开的聚变力。因此，太阳处在核力和引力之间的微妙的平衡状态，核力会使它爆炸，而引力将它凝聚到一个点上。在一个更高维度的宇宙中，这种微妙的平衡将被破坏，恒星可能会自行坍缩。

[8] 佐尔拉在1875年转变为一个唯心主义者，那时他访问了克鲁克斯的实验室。克鲁克斯是元素铊和阴极射线管的发明者和《科学学报》季刊编辑。克鲁克斯的阴极射线管为科学带来了革命。人们看电视、使用电脑显示器、玩视频游戏、拍摄X射线都应感谢克鲁克斯的著名的发明。

反过来，克鲁克斯也不是怪人。事实上，他是英国科学界的一头狮子。他获得过各种各样的专业荣誉。他在1897年被封为爵士，在1910年获得勋章。他的弟弟菲利普在1867年因黄热病不幸去世，这激发了他对灵性的探究兴趣。他成了心理研究学会一个杰出的成员（后来的主席），这个学会包括了数量惊人的19世纪末重要的科学家。

[9] 想象在三维以上的空间中如何解开结，设想两个环交织在一起。现在取这个交织环构型的二维横截面，结果是一个环位于这个平面上，而另一个环成为了一个点（因为它垂直于平面）。现在在圆中出现了一个点。在更高的维度，我们能够将这个点自由移动，将它彻底移到圆的外面，无需切割环任何部位。这意味着两个环现在已按照要求完全分离。这也意味着，在大于三维空间中的结总是可以解开的，因为有“足够的空间”。但同时也需要注意，如果我们处在三维空间中，我们就不能把点从圆环中移走，这就是为什么结只有在三维空间中才处于成结状态的原因。

第3章

[10] A．T．斯科菲尔德（A．T．Schofield）写道，“因此可以得出结论，比我们更高维的世界不仅在想象上是合理的，也实际上也是可能的。其次，这样的世界可以被认为是一个四维度的世界。再次，通过类比，精神世界神秘的规律与四维的规律、语言和要求大体是一致

的”。

[11] 亚瑟·威林克（Arthur Willink）写道，“当我们认识了四维空间的存在时，对承认五维空间乃至无限维空间的存在的问题上将不会再感到太大压力。”

[12] 根据亨德森的说法，“第四维度吸引了如赫伯特·乔治·威尔斯、奥斯卡·王尔德、约瑟夫·康拉德、福特·麦多克斯·福特、马塞尔·普鲁斯特、格特鲁德·斯坦，这样的文学人物的注意。在音乐家中，亚力山大·斯克里亚宾、埃德加·瓦瑞兹和乔治·安塞尔积极关注第四维度，并鼓励他们大胆创新”。

[13] 列宁的《唯物主义和经验批判主义》如今依然是重要的著作，因为它深深地影响了苏联和东欧的科学。例如，列宁的名言“电子无穷尽”即表明了一种辩证观。每当我们深入探讨物质的核心时，我们总会发现新的子层和矛盾。例如，星系是由较小的恒星系统组成的；而恒星系统又包含由分子组成的行星；这些行星由原子组成，其中含有电子，而电子又是“取之不尽用之不竭的”，这是“世界内部有世界”理论的一种变体。

[14] 想象一个平地居民建了一个序列为6个相邻的方块，呈“十”字的形状。对一个平地居民来说，这些方块是刚性的。它们不能沿着连接正方形的任何边扭曲或旋转。然而，想象一下，抓住这些正方形，决定将这一系列的正方形折叠成立方体。连接这些正方形的接缝在两个维度下是刚性的，在三维中却很容易折叠。事实上，折叠操作可以在三维中顺利完成，甚至平地居民还没有注意到，折叠就完成了。

现在，如果一个平地居民在立方体之内，他会注意到一个奇怪的现象。每一个正方形通向另一个正方形。立方体没有“外面”。每一次平地居民从一个正方形移动到下一个正方形，他顺利地（在他不知情的情况下）在三维中弯曲90度并进入下一个正方形。从外面看，这个房子只是一个普通的正方形。然而，对于进入正方形的人来说，他会发现一组奇怪的正方形序列，每一个正方形不能通向下一个正方形。对他来说，一个正方形的内部可以容纳一系列六个正方形似乎是不可能的。

第4章

[15] 通常情况下，存在两个人，他们都认为自己比对方高，这是荒谬的。

其中的一个人一定比另一个人高是荒谬的。然而，存在这样一种情况，我们有两个人，每个人都确认另一个人被压缩了。这并非一个真正的矛盾，因为它需要时间进行测量。这里，时间和空间都被扭曲了。特别是，在同一个参照系中同时出现的事件在另一个参照系中却并非同时发生。

例如，站台上的人拿出一把尺子，当火车经过站台时，使尺子落到站台上进行测量。当火车经过站台时，他们让尺子的两端下落，为的是让尺子的两端同时击中站台。用这种方式，他们就可以证明火车被压缩了，火车从前面到后面，只有1英尺长。

反向分析，从火车上乘客的角度来考虑同样的测量过程。火车上乘客认为自己处在静止状态，他们看到被压缩的地铁站扑面而来。站台上被压缩了的人将一把压缩了的尺子放下并落向地面。乍看，像这样短小的尺子，能够测量火车的全长是不可能的。但是，当尺子落下时，尺子的两端不会同时碰到地板。当火车站经过火车的前端时，尺子的一端落地。只有当火车站移动了整列火车长度时，尺子的第二端才落地。这样，同一把尺子就测出了在两种框架中火车的全长。

这个“悖论”和出现在相对论中的其他矛盾的实质是，测量过程需要时间。空间和时间在不同的框架（参照系）中以不同的方式被扭曲。

[16] 麦克斯韦方程看起来像这样（我们设置$C=1$）：

$$\cdot E = \rho$$

$$\times B - \frac{\partial E}{\partial t} = j$$

$$\cdot B = 0$$

$$\times E + \frac{\partial B}{\partial t} = 0$$

第二行和第四行的公式都是矢量方程，它们分别代表了三个方程。因此，麦克斯韦方程组总计有八个方程。

我们可以用相对论将这些方程进行改写。如果引入麦克斯韦张量$F_{\mu\gamma} = \partial_\mu A_\gamma - \partial_\gamma A_\mu$，则这些方程可以简化为一个方程：

$\partial_\mu F_{\mu\gamma} = j_\gamma$

这是麦克斯韦方程的相对论版本。

[17] 爱因斯坦方程式可以写成如下形式：

$$R_{\mu\gamma} - \frac{1}{2} g_{\mu\gamma} = -\frac{8\pi}{c^2} G T_{\mu\gamma}$$

其中，$T_{\mu\gamma}$是测量物质-能量含量的能量-动量张量，而$R_{\mu\gamma}$是收缩黎曼曲率张量。这个方程表明了能量-动量张量确定了超空间存在的曲率大小。

[18] 以定义圆或球相似的方法，可以定义超球。一个圆的定义是：在x-y平面上满足$x^2 + y^2 = r^2$方程的点集。一个球的定义是：在x-y-z空间中满足$x^2 + y^2 + z^2 = r^2$方程的点集。一个四维超球的定义是：在x-y-z-u空间中满足$x^2 + y^2 + z^2 + u^2 = r^2$方程的点集。这个程序可以很容易地扩展到N维空间。

[19] 1914年，甚至是在爱因斯坦提出广义相对论之前，物理学家贡纳·诺德斯特姆（Gunnar Nordstrom）就试图引入一个五维的麦克斯韦理论统一电磁力与引力。如果有人去检验他的理论，那么，此人会发现这个理论在四维中正确地包含了麦克斯韦的光理论。但它是一个引力的标量理论被认为是不正确的。结果是，诺德斯特姆的想法大部分被遗忘了。从某种意义上说，他发表得太快了。他的论文写于爱因斯坦的引力理论发表前1年，因此他不可能写出一个五维爱因斯坦引力理论。

卡鲁扎的理论与诺德斯特姆相反，它从定义在五维空间的一个度规张量$g_{\mu\gamma}$出发。接着，卡鲁扎使$g_{\mu 5}$等同于麦克斯韦张量A_μ。只有当μ和γ不等于5时，旧的爱因斯坦规度由卡鲁扎的新规度确定。用这个简单而优雅的方式，无论是爱因斯坦场还是麦克斯韦场都被放置在卡鲁扎的五维空间的度规张量中。

另外，亨利·曼德尔（Heinrich Mandel）和古斯塔夫·米埃（Gustav Mie）也明确提出了五维理论。因此，高维就是大众文化的一个主要方面，这个事实可能有助于物理界的交流。在这种意义上，黎曼的工作兜了个圈子又回到了起点。

第7章

[20] 威滕强调，爱因斯坦是从物理学原理的等效原理导出广义相对论的。（物体的引力质量和惯性质量相等，因此，不管物体有多大，都会以相同的速率落向地球。）然而，对于弦理论来说，与等效原理相对应的物理原理还没有被发现。

正如威滕所指出的，“显然，弦理论确实给出了一个逻辑上一致的框架，它同时包括了引力和量子力学。同时，这个本应被正确理解的‘类似于爱因斯坦发现引力理论的等效原理’的概念框架还没有出现”。

这也是威滕现在正在建立所谓的拓扑场论的原因，它与我们测量距离所用的方法完全无关。希望这些拓扑场论可以与“弦理论的完整阶段”（unbroken phase of string theory）相吻合——超越普朗克长度的弦理论。

[21] 让我们用杂化弦来考查紧凑性，存在有两种类型振动：在二十六维时空中的振动、在十维时空中的振动。由于26-10 = 16，因此我们现在假定26个维度中的16个维度都蜷缩了起来——“紧凑”成某种流形——留下一个十维理论。任何一个沿着这16个方向行走的人都会恰好回到同一地点。

彼得·弗罗因德（Peter Freund）建议，将这个16维紧缩空间的对称性群称为群E（8）×E（8）。经过科学家们的快速核算，结果表明这个对称性非常巨大，包含了由标准模型SU（3）×SU（2）×U（1）给出的对称群。

总之，重要的关系是26-10 = 16，这意味着如果我们紧缩杂化弦原有的26个维度中的16个维度，留下一个16维的紧缩空间的剩余对称性称为E（8）×E（8）。然而，在卡鲁扎-克莱因理论中，当一个粒子被迫处在一个紧缩的空间中，它必须继承该空间的对称性。这意味着弦的振动必须根据对称群E（8）×E（8）重新排列。

因此，我们可以得出这样的结论：群论告诉我们，这个群比标准模型中出现的对称群大得多，因此可以把标准模型作为十维理论的一小部分。

[22] 虽然超引力理论是在11个维度中定义的，但该理论还是太小，不能容纳所有粒子间的相互作用。超引力最大的对称群是O（8），但O（8）太小了，无法容纳标准模型的对称性。

11维超引力乍一看比10维超弦有更多的维数，因此也应该具有更多的对称性。这是一种错觉，因为杂化弦由26维空间紧缩到10维空间，留给我们16个紧缩的维度，得到对称群E（8）×E（8）。这足以容纳标准模型。

[23] 注意，一些其他可选择的非微扰弦理论方法已被提出，但它们都没有弦场论先进。其中最有雄心的是“万能模量空间”，它试图分析具有无数孔的弦表面的性质（不幸的是，没人知道这样的曲面如何计算）；另一种是“重整化群方法”，到目前为止，它只能复制没有洞的曲面（树形图）；还有一种是“矩阵模型”，到目前为止，它只能定义二维或二维以下的维度。

[24] 为了了解这个神秘的系数2，考虑一束光，它具有两种振动物理模式。例如，偏振光可以在水平方向或垂直方向振动。然而，一个相对论的麦克斯韦场A_μ有4个分量，其中$\mu = 1$，2，3，4。可以用麦克斯韦方程的规范对称性从这4个分量中减去2个。因为4-2 = 2，原来的4个麦克斯韦场化简为2个。类似地，一个相对论弦在二十六维中振动。当我们打破弦的对称性，留下24个振动模式时，这些振动模式中的2个可以去除，这是在拉马努金函数中出现的模式。

第9章

[25] 轨形理论实际上是几个人的共同产物，包括普林斯顿的L．狄克逊（L．Dixon）、J．哈维（J．Harvey）和爱德华·威滕（Edward Witten）。

[26] 几年前，数学家们问自己一个简单的问题：“给定N维空间中的一个曲面，它能存在多少种振动？”比如，把沙子倒在鼓上。当鼓在一定频率下振动时，沙粒在鼓面上形成优美的对称图案。鼓面的不同频率将对应不同的沙粒图案。类似地，数学家们计算了弯曲的N维曲面上的表面允许的共振振动的数目和种类。他们甚至计算了电子在这样一个假想的表面上振动的数量和种类。对数学家来说，这是一次聪明的智力演习。没有人认为它会带出什么物理后果。毕竟，他们认为电子在N维表面上不会振动。

现在可以用这个庞大的数学定理来解决大统一理论的家族问题。如果弦理论是正确的，每个大统一理论家族必须是轨形上某些振动的反映。由于振动的各种类型已被数学家编目，因此物理学家所要做的就是看着一本数学书，告诉他们有多少相同的家族！因此，家族问题的根源是拓扑学。如果弦理论是正确的，那么，我们只能将自己的意识扩展到10个维度，否则绝不能

理解大统一理论这3个重复的粒子家族的起源。

一旦我们将多余的维度卷成一个小球，我们就可以把理论和实验数据进行比较。例如，弦的最低激发对应于一个非常小半径的闭合弦。在一个小的闭合弦振动中产生的粒子正是那些在超引力中发现的粒子。因此，我们重新找到了超引力的所有好结果，排除了结果。这种新的超引力的对称群是E（8）×E（8），比标准模型的对称性甚至大统一理论的对称性大得多。因此，超弦理论包含大统一理论和超引力理论（却没有这两个理论的众多坏特征）。超弦理论并非将它的竞争对手消灭，而是将它们统统吞掉。

但是，这些轨形也带来了一些新的问题——我们可以构造成千上万的轨形。我们陷入了富裕的困境！每一个轨形原则上都描述了一个宇宙。怎样才能辨认哪个宇宙是正确的呢？在这些数以千计的解中，我们找到了许多解，它们能准确地预测3代或3个家族的夸克和轻子。我们也能预言数以千计的解，它们中有许多超过了3代。因此，大统一理论认为3代太多，弦理论的许多解却认为3代太少。

第10章

[27] 更精确地说，泡利不相容原理指出，不能有两个电子处于完全相同的量子态。这意味着，白矮星可以近似为费米海，或服从泡利不相容原理的电子气。

由于两个或两个以上的电子不能处于相同的量子态，所以排斥力使它们不能被压缩到一个点。在白矮星中，正是这种排斥力最终将引力抵消。

同样的逻辑也适用于中子星中的中子，因为中子也服从泡利不相容原理，只是计算更为复杂，因为它还掺杂了其他的核效应和广义相对论效应。

第13章

[28] 事实上，亿万年前自我毁灭更加容易。为了制造原子弹，任何种族都必须面对的根本问题是，将铀-235从它更丰富的双胞胎铀-238中分离出来，因为铀-238不能维持链式反应，只有铀-235会维持链式反应。但铀-235在天然的铀中极少（所占比例仅为0.3%）。为了维持失控的链式反应，我们必须将铀-235的浓度保持在20%以上。实际上，武器等级的铀中，铀-235的浓度通常能达到90%以上。（这也是铀矿山不会自发性发生核爆炸的原因。因为铀矿山中的天然铀-235富含量太低。铀-235的浓度不足，将无法维持失控的核链式反应。）

因为铀-235相比其丰富的双胞胎铀-238寿命更短，所以在远古以前，在我们宇宙中天然形成的铀-235的浓度远大于0.3%。

换句话说，当时的任何文明制造原子弹都比当下的我们轻松许多，因为，天然形成的浓度远大于今天。

第14章

[29] 英国瑟赛克斯大学的天文学家约翰·巴罗和加州大学伯克利分校的约瑟夫·西尔克在这场令人沮丧的情景中看到了一些希望。他们写道："如果生命以任何形状或形式在最终的环境危机中幸存下来，那么，宇宙必须满足某些基本的要求。智能生命赖以生存的基本前提是能源。

"宇宙膨胀的各向异性、黑洞蒸发、残留的裸露的奇异性，都是所有生命的同一类保护者……在一个开放的宇宙中，有无限量的信息潜在可用。消化这些信息，将是任何智能生命的主要目标"。

《超空间》重在为普通读者打开科学的心扉，将最前沿的科学思想告知大众，打开对未来科学的探索之门。

作者生动而形象地为我们解释了维度问题，以帮助读者对高维世界的理解。通常来说，某一维度总会在它的次级维度中展示它在那个维度中的一个局部。次级维度的生物只能按此方法逆向构思上级维度的景象。作者认为可以通过弦理论推导出十维宇宙。

其次，作者为我们分析了时间与空间的关系、恒星的演化、黑洞的诞生、虫洞的可能性，以及宇宙之死的问题。从理性的角度层层推理，帮助读者理解时间的性质、天体物理学的奥秘。

最后，作者提出了建造时间机器的可能性。我们的四维宇宙死亡之时，正是宇宙大爆炸时我们的孪生六维宇宙发展之时。我们通过超空间开启虫洞之门，实现穿越时空的旅行。



加来道雄，世界著名理论物理学家，纽约城市大学城市学院理论物理学教授。曾任普林斯顿高等研究院和纽约大学客座教授。著有畅销书《平行宇宙》、《物理学的未来》、《心灵的未来》等。

伍义生，原中国科学院力学研究所研究员。荷兰代尔夫特理工大学、德国宇航研究院材料所、澳大利亚悉尼大学客座教授。中国科学院翻译协会理事、中国翻译协会资深翻译。译著：《平行宇宙》、《物理学的未来》、《心灵的未来》、《量子宇宙》、《终极理论》、《玻尔与爱因斯坦大论战》等。

Parallel Worlds

平行宇宙（新版）

《超空间》一书的作者
[美] 加来道雄（Michio Kaku） 著
伍义生 包新周 译

重庆出版集团 重庆出版社
果壳文化传播公司

堪与《时间简史》媲美 门外汉都能读懂的世界科学名著

在学者的引导下，作一次奇妙的宇宙漫游，他的见解可将我们的想象力推向极限。
——布赖恩·格林（Brian greene），《宇宙结构》的作者

科学可以这样看丛书

穿越创世、高维空间和宇宙未来之旅

A JOURNEY THROUGH CREATION, HIGHER DIMENSIONS, AND THE FUTURE OF THE COSMOS

我们的宇宙正在死亡吗？
还可能有其他的宇宙吗？

加来道雄博士是一位世界著名的物理学家和畅销书作者。《华尔街杂志》说他擅长将最为玄妙难解的思想解释得通俗易懂。在《平行宇宙》一书中他以引人入胜的方式，带领读者遍览宇宙学和M理论，深刻理解其对宇宙命运的意义。

继《超越爱因斯坦》和《超空间》之后，在新近出版的这一本有关物理学的书中，加来道雄博士首先讲述了在过去一个世纪，特别是过去10年中所出现的改变了宇宙学的那些非凡进展，迫使全世界的科学家重新思考我们对宇宙起源及其最终命运的理解。在加来道雄博士看来，随着WMAP、COBE卫星和哈勃空间望远镜所提供的新发现，宇宙幼年时期的图景以前所未有的方式呈现在了我们面前，所以说我们正生活在一个物理学的黄金时代。

当天文学家不辞辛劳地分析了从WMAP卫星得到的像雪片一样多的数据之后，一幅新的宇宙图景显现了。到目前为止，有关宇宙起源的最重要的理论是“宇宙膨胀理论”，对大爆炸理论作了重大改进。在这个理论中，我们的宇宙只不过是众多宇宙中的一个，像泡泡一样漂浮在无边无际的泡沫宇宙之海中，随时都有新的宇宙在诞生。一个平行宇宙也许就悬浮在我们的头顶上，相隔只有1毫米之遥。

对于平行宇宙这一想法，以及对于用以解释平行宇宙之存在的弦理论，科学家一度以怀疑的眼光看待，认为它是神秘主义者、假充内行以及行为怪诞的人所感兴趣的领域。但是今天，已有压倒多数的理论物理学家在支持弦理论和它的最新版本M理论。因为，如果这个理论被证明是正确的话，它将能够以简单优雅的方式把宇宙的四种力归结在一起，同时能够回答“在大爆炸之前发生了什么？”这个问题。

科学可以这样看丛书

Parallel Worlds

平行宇宙

（新版）

穿越创世、高维空间和宇宙未来之旅

[美]加米道雄(Michio Kaku) 著
伍义生 包新周 译

在学者的陪同下，
作一次奇妙的宇宙漫游，
他的见解可将我们的想象力推向极限。

重庆出版集团 重庆出版社
果壳文化传播公司

Parallel Worlds by Michio Kaku
Copyright 2004 by Michio kaku
Originally Published by Doubleday，an imprint of Random House，in 2004．
Simplified Chinese characters edition arranged through
Andrew Nurnberg Associates International Ltd．
All Rights Reserved
版贸核渝字（2014）第42号

图书在版编目（CIP）数据

平行宇宙：新版/（美）加来道雄著；伍义生，包新周译．—重庆：重庆出版社，2014.4（2020.11重印）

（科学可以这样看丛书/冯建华主编）

ISBN 978-7-229-07764-8

I．①平…　II．①加…②伍…③包…　III．①宇宙—普及读物　IV．①P159-49

中国版本图书馆CIP数据核字（2014）第065143号

平行宇宙（新版）

PARALLEL WORLDS

〔美〕加来道雄（Michio Kaku）著　伍义生　包新周　译

责任编辑：连　果

审　　校：冯建华

责任校对：何建云

封面设计：博引传媒·何华成


重庆出版集团
重庆出版社　出版

重庆市南岸区南滨路162号1幢　邮政编码：400061　http：//www.cqph.com

重庆出版集团艺术设计有限公司制版

重庆市国丰印务有限责任公司印刷

重庆出版集团图书发行有限公司发行

E-MAIL：fxchu@cqph.com　邮购电话：023-61520646

全国新华书店经销

开本：720mm×1000mm　1/16　印张：20.5　字数：330千

2008年5月第1版　2014年5月第2版　2020年11月第2版第16次印刷

ISBN 978-7-229-07764-8

如有印装质量问题，请向本集团图书发行有限公司调换：
023-61520678

版权所有　侵权必究

目录

致谢
前言
第一部分　宇宙
第1章　宇宙诞生时的情景
第2章　荒谬的宇宙
第3章　大爆炸
第4章　膨胀和平行宇宙
第二部分　多元宇宙
第5章　空间入口和时间旅行
第6章　平行量子宇宙
第7章　M理论：所有弦理论之母
第8章　设计者宇宙？
第9章　寻找来自第11维度的回声
第三部分　遁入超空间
第10章　万物之终结
第11章　逃离宇宙
第12章　超越多元宇宙
注释
词汇表
不必逃逸我们的宇宙
返回总目录

Advance Praise for Parallel Worlds
《平行宇宙》一书的发行评语

“喜欢宇宙论、时间旅行、弦理论和10维或11维宇宙的读者可能不会找到比加来道雄博士更好的引导者了，他既是一位亲身从事这方面研究的学者，同时又善于以引人入胜的方式，深入浅出地讲解这一难以琢磨的复杂问题，非常难能可贵。”

——唐纳德·戈德史密斯（Donald Goldsmith），《逃亡的宇宙》和《宇宙的连接》的作者。

“可读性极高，让你轻松涉足在宇宙学前沿而乐不可支。”

——马丁·里斯（Martin Rees），《我们的宇宙栖息地》和《我们的最后结局》的作者。

“穿越宇宙，突破宇宙，目不暇接，五光十色。加来道雄博士，世界上最优秀的科学作家之一，指点你透过物理世界的寻常表象，看到隐藏其下的奇妙世界：不可思议的暗物质及暗能量，空间中隐藏着的高维度，振动着的弦及其微小的环，宇宙就是靠它们才得以维系。根据加来道雄博士的看法，现实世界其实扑朔迷离，丝毫不亚于最离奇的科幻小说。”

——保罗·戴维斯（Paul Davies），澳大利亚悉尼麦考瑞大学太空生物学中心，《怎样建造一架时间机器》的作者。

“加来道雄博士的又一力作。在《平行宇宙》中，他巧妙地将物理学的前沿变得如同一座游乐园，使你能一边享受乐趣，一边又学到了爱因斯坦的相对论、量子力学、宇宙学和弦理论。但是本书的真正精髓在于，它告诉你加来道雄是如何运用这些强大的工具，来探究多宇宙是否存在，以及，在我们对上帝以及生命的意义进行认知的过程中，它们能给我们以怎样的哲学启迪。”

——尼尔·德格拉斯·泰森（Neil de Grasse Tyson），天体物理学家和纽约城海登天文馆主任，《起源：宇宙演变的140亿年》一书的合著者。

“著名物理学家和《超空间》的作者加来道雄，在这个最新探索遥远天际的科学思考中告诉读者，另一个宇宙可能就漂浮在离我们宇宙只有

1毫米之遥，与我们宇宙平行的一片‘振动膜’（膜）上。我们不能将头伸进去到处看一看是因为它存在于超空间，超出了我们的四个维度。然而，加来道雄写道，科学家推测：有可能成为人们长期追求的‘万有理论’的M理论所创造的膜可能最终相撞，彼此湮灭。这样的碰撞会造成我们所说的大爆炸。加来道雄用通常读者喜爱的风格，讨论了从相对论和量子力学的方程式里出现的幽灵般的物体：虫洞、黑洞和另一端的‘白洞’；众多的宇宙从另一个宇宙萌生；交替的量子现实，其中的2004个电子出现不同的结果。当加来道雄深入探究这个宇宙的过去、现在和可能的未来时，他的观点让读者激动，在我们的鼻子尖外就可能存在另外的宇宙，他承认这很可能是猜测的，从现在开始我们的后代有可能享受无数年；例如，当这个宇宙死亡（死于‘大冻结’）时，人类能够逃到其他的宇宙中。”

——出版人周刊（*Publishers Weekly*）

“当我们的宇宙最终死亡时，文明能够迁移到另一个宇宙中吗？纽约城市大学的理论物理学教授加来道雄认为，这种转变的可能性出现在一个新兴的多元宇宙理论中，即‘世界是由多个宇宙组成的，而我们的宇宙是其中之一’。我们的宇宙正在膨胀。‘如果这个反引力继续，宇宙会最终死于大冻结。’这是一个物理学定律。‘但它也是一个演化定律，当环境变化时，生命必须离开、适应或是死亡。’迁移到另一个宇宙是加来道雄引证的一种可能性。另一个可能性是文明可以建立一个‘时间隧道’，在大冻结之前旅行回到自己的过去。第三个可能性是‘整个文明可以通过维度入口注入种子和重建自身，再实现完全的繁荣’。加来道雄善于解释这个宇宙论的想法：其中的弦理论、膨胀、虫洞、空间和时间弯曲、高维度是他论点的基础。”

——科学美国人（*Scientific American*）

“《超空间》的作者加来道雄，在纽约城市大学教理论物理学。听起来挺可怕吗？他在处理最近的卫星数据时提出，神秘的暗能量占了宇宙的近四分之三。《平行宇宙》倾注了加来道雄对物理学和未来学的兴趣，提出了令人毛骨悚然的问题：更高的维度存在吗？黑洞可以弯曲时间吗？当我们的宇宙死亡时，我们可以跳上通往另一个宇宙的星舰吗？加来道雄探究了宇宙学最近的历史，从牛顿到爱因斯坦，并介绍了他自己的理论。他写得清晰明了，是一本有帮助的好词典。但由于内容丰富和复杂的概念，大多数读者会需要一些帮助。一些评论家建议从布赖恩·格林的《宇宙结构》开始，这是一本漂亮的但仍然困难的书。或者去超弦理论网站superstringtheory.com，就更容易明白。”

——书签杂志（*Bookmarks Magazines*）

“物理学家布赖恩·格林的书（如《宇宙结构》）展示了对弦理论和膜理论的兴趣，它断定，物质和能量由10维或11维以不同频率振动的实体构成。加来道雄是这个领域的先驱理论家，也是一个兴趣广泛、优美

流畅的作家（如《平行宇宙》），他能够解释弦理论的本质和含义。弦理论是纯粹的理论构建，在自然界还没有检测到，但是在当前正在发展的一些大型科学观察站的描述进程中，加来道雄预计将会发现这些物理实体存在的证据。从这个乐观的平台出发，加来道雄详尽阐述了为什么天体物理学家钟爱弦理论和膜理论：它们解决了各种无理取闹的宇宙悖论，并且加来道雄认为，最终有可能用只有一英寸长的公式描述我们的宇宙。另一方面，在弦理论的数学参数中允许存在数以百万计的可能的宇宙，并且因为我们的宇宙注定要膨胀成为永恒寒冷的世界，根据宇宙学家当前的思考，早日筹划移民到一个温暖的平行宇宙就很有意义。加来道雄引人入胜的通过时空逃生的猜测，开创了在物理学中用弦理论处理问题的新方法。”

——吉尔伯特·泰勒（Gilbert Taylor）。

“一百年前，阿尔伯特·爱因斯坦彻底改革了宇宙学的科学。《平行宇宙》的作者加来道雄，另一个天才，给我们提供了这门科学的最新信息并推测宇宙的未来。”

——圣安东尼奥快递新闻（*San Antonio Express-News*）

“加来道雄采用一种平易近人的风格，即使对我们这些很难讲清楚超弦理论和喷彩摩丝气溶胶之间有什么不同的人，也在很大程度上使故事极易理解……迷人的有时简直是难以置信的。”

——科幻杂志（*Sci Fi Magazine*）

Also by Michio Kaku

Beyond Einstein

Hyperspace

Visions

Einstein's Cosmos

跟随加来道雄

《超越爱因斯坦》

《超空间》

《构想未来》

《爱因斯坦的宇宙》

This book
is dedicated to
my loving wife，Shizue

本书
献给我的妻子静枝

致谢

我要感谢以下科学家，感谢他们花费许多时间接受我的采访。他们的意见、观察和思想极大地丰富了本书的内容，使本书的内容更深刻、更集中。

*诺贝尔奖获得者史蒂文·温伯格（Steven Weinberg）（得克萨斯大学奥斯汀分校）

*诺贝尔奖获得者默里·盖尔曼（Murray Gell-mann）（圣菲研究所和加利福尼亚理工学院）

*诺贝尔奖获得者利昂·莱德曼（Leon Lederman）（伊利诺伊理工学院）

*诺贝尔奖获得者约瑟夫·罗特布拉特（Joseph Rotblat）（圣巴塞洛缪医院，退休）

*诺贝尔奖获得者沃尔特·吉尔伯特（Walter Gilbert）（哈佛大学）

*诺贝尔奖获得者亨利·肯德尔（Henry Kendall）（麻省理工学院，已故）

*物理学家艾伦·古思（Alan Guth）（麻省理工学院）

*英国皇家学会天文学家马丁·里斯（Martin Rees）爵士（剑桥大学）

*物理学家弗里曼·戴森（Freeman Dyson）（普林斯顿大学高等学术研究所）

*物理学家约翰·施瓦茨（John Schwarz）（加利福尼亚理工学院）

*物理学家莉萨·兰德尔（Lisa Randall）（哈佛大学）

*物理学家J．理查德·戈特（J．Richard Gott III）（普林斯顿大学）

*天文学家尼尔·德格拉斯·泰森（Neil de Grasse Tyson）（普林斯顿大学和海登天文馆）

*物理学家保罗·戴维斯（Paul Davies）（阿德莱德大学）

*天文学家肯·克罗斯韦尔（Ken Croswell）（加利福尼亚大学伯克利分校）

*天文学家唐·戈德史密斯（Don Goldsmith）（加利福尼亚大学伯克利分校）

*物理学家布莱恩·格林（Brian Greene）（哥伦比亚大学）

*物理学家库姆兰·瓦法（Cumrun Vafa）（哈佛大学）

*物理学家斯图尔特·塞缪尔（Stuart Samuel）（加利福尼亚大学伯克利分校）

*天文学家卡尔·萨根（Carl Sagan）（科内尔大学，已故）

*物理学家丹尼尔·格林伯格（Daniel Greenberger）（纽约市立学院）

*物理学家V．P．奈尔（V．P．Nair）（纽约市立学院）

*天文学家罗伯特·P．基尔希纳（Robert P．Kirshner）（哈佛大学）

*天文学家彼得·D．沃德（Peter D．Ward）（华盛顿大学）

*天文学家约翰·巴罗（John Barrow）（苏塞克斯大学）

*科学新闻记者马西娅·巴尔图什克（Marcia Bartusiak）（麻省理工学院）

*物理学家约翰·卡斯蒂（John Casti）（圣菲研究所）

*科学新闻记者蒂莫西·费里斯（Timothy Ferris）

*科学作家迈克尔·莱蒙尼克（Michael Lemonick）（《时代》周刊）

*天文学家富尔维奥·梅利亚（Fulvio Melia）（亚利桑那大学）

*科学新闻记者约翰·霍根（John Horgan）

*物理学家理查德·马勒（Richard Muller）（加利福尼亚大学伯克利分校）

*物理学家劳伦斯·克劳斯（Lawrence Krauss）（凯斯西储大学）

*原子弹设计专家特德·泰勒（Ted Taylor）

*物理学家菲利普·莫里森（Philip Morrison）（麻省理工学院）

*计算机科学家汉斯·莫拉韦克（Hans Moravec）（卡内基梅隆大学）

*计算机科学家罗德尼·布鲁克斯（Rodney Brooks）（麻省理工学院人工智能实验室）

*天体物理学家唐娜·雪莉（Donna Shirley）（喷气推进实验室）

*天文学家达恩·韦特海默（Dan Wertheimer）（加利福尼亚大学伯克利分校，在家搜寻地外文明计划）

*科学新闻记者保罗·霍夫曼（Paul Hoffman）（《发现》杂志）

*物理学家弗朗西斯·埃弗里特（Francis Everitt）（斯坦福大学，引力探测基地）

*物理学家西德尼·佩尔科维奇（Sidney Perkowitz）（埃默里大学）

我还要感谢以下科学家，多年来他们促进了有关物理学的讨论，极大地增强了本书的内容：

*诺贝尔奖获得者李政道（T．D．Lee）（哥伦比亚大学）

*诺贝尔奖获得者谢尔登·格拉肖（Sheldon Glashow）（哈佛大学）

*诺贝尔奖获得者理查德·费曼（Richard Feynman）（加利福尼亚理工学院，已故）

*物理学家爱德华·威滕（Edward Witten）（普林斯顿大学高等学术研究所）

*物理学家约瑟夫·吕克（Joseph Lykken）（费米实验室）

*物理学家戴维·格罗斯（David Gross）（加利福尼亚大学圣巴巴拉分校，卡夫利研究所）

*物理学家弗兰克·维尔切克（Frank Wilczek）（加利福尼亚大学圣巴巴拉分校）

*物理学家保罗·汤森德（Paul Townsend）（剑桥大学）

*物理学家彼得·范·尼乌文赫伊泽思（Peter Van Nieuwenhuizen）

（纽约州立大学石溪分校）

*物理学家米格尔·维拉索罗（Miguel Virasoro）（罗马大学）

*物理学家布尼·萨基塔（Bunji Sakita）（纽约市立学院，已故）

*物理学家阿肖克·达斯（Ashok Das）（罗彻斯特大学）

*物理学家罗伯特·马沙克（Robert Marshak）（纽约市立学院，已故）

*物理学家弗兰克·蒂普勒（Frank Tippler）（杜兰大学）

*物理学家爱德华·特赖恩（Edward Tryon）（亨特学院）

*天文学家米切尔·比格尔曼（Mitchell Begelman）（科罗拉多大学）

我要感谢肯·克罗斯韦尔对本书的众多建议。

我还要感谢我的编辑罗杰·肖勒（Roger Scholl），他出色地编辑了我的两本书。他的编辑扎实可靠，极大地增强了本书的魅力，他的意见总是帮助澄清和加深了书的内容和表达。最后，我还要感谢我的代理人斯图尔特·克里切夫斯基（Stuart Krichevsky），这些年来我的所有书都是由他介绍给读者的。

前言

宇宙学是研究宇宙整体的科学，包括宇宙的诞生和它的最终命运。毫不奇怪的是，它经历了缓慢的和痛苦的演变，这种演变常常被宗教的教条和迷信所笼罩。

宇宙学的第一次革命是在17世纪引进望远镜时产生的。在伟大的天文学家尼古劳斯·哥白尼（Nicolaus Copernicus）和约翰尼斯·开普勒（Johannes Kepler）工作的基础上，伽利略·加利列伊（Galileo Galilei）借助于望远镜的帮助展示了天空的壮观，首次为天空的认真的科学研究打下了基础。宇宙学的这个第一阶段的进展在艾萨克·牛顿（Isaac Newton）的工作中达到了顶点，他最终确定了控制天体运动的基本定律。天体的规律现在不再是魔法和神秘的，而是受可以计算和可以复制的力支配的。

宇宙学的第二次革命是在20世纪引进大型望远镜产生的。例如威尔逊山上的一架望远镜有一面巨大的直径达100英寸（2.54米）的反射镜。在20世纪20年代，埃德温·哈勃（Edwin Hubble）利用这架巨大的望远镜推翻了几个世纪以来有关宇宙是静态的和永恒的教条。他证明天空中的星系正以巨大的速度离地球而去，即宇宙在膨胀。这就证实了爱因斯坦广义相对论的结果，它说空间时间的构造不是平的和线性的，而是动态的和弯曲的。这就给出了宇宙起源的第一个似乎可信的解释，即宇宙开始于“大爆炸”，大爆炸将星星和星系飞快地向外送到宇宙空间。由于乔治·伽莫夫（George Gamow）有关大爆炸和弗雷德·霍伊尔（Fred Hoyle）有关元素起源的先驱工作，已经出现了一个概括宇宙演化的框架。

现在正在进行第三次革命。大约只有5年时间。它是由一连串新的高技术仪器，如空间卫星、激光、引力波探测器、X射线望远镜和高速超级计算机产生的。我们现在有了关于宇宙性质的最权威的数据，包括它的年龄、它的组成，甚至它的将来和最终的死亡。

现在，宇宙学家认识到宇宙正以跑开的模式在膨胀，无限制地膨胀，速度越来越快，随着时间越长宇宙变得越来越冷。如果这样继续下去，我们将面临大冻结的前景，那时宇宙将陷入黑暗和寒冷，所有的智能生命都将死亡。

这本书是写这个第三次大革命的。这本书不同于我早先的关于物理学的、书名为《超越爱因斯坦》（*Beyond Einstein*）和《超空间》

（*Hyperspace*）的书，那两本书是向公众介绍高维度和超弦理论的。在《平行宇宙》（*Parallel Worlds*）中注意的问题不是空间时间，而是在过去几年时间内展现的宇宙学的革命性的发展。这些发展是根据从世界各个实验室和最外层空间得到的新证据和理论物理的新突破。我的意图是不需要任何以前的物理学和宇宙学的背景，就能让读者了解这些发展。

书的第一部分集中在对宇宙的研究上，总结宇宙学早期阶段的进展，最后讲“膨胀”理论，它给了我们到今天为止的大爆炸理论的最完善的表述。书的第二部分特别集中在多元宇宙理论的出现，即世界由多个宇宙组成，我们的宇宙只是其中之一。讨论虫洞、空间和时间弯曲的可能性，以及高维空间可能会怎样连接它们。超弦理论和M理论使我们在超越爱因斯坦原始理论的道路上走出重要的一步。它们给我们进一步的证据，说明我们的宇宙只不过是众多宇宙中的一个。书的第三部分讨论大冻结，现在科学家都把它看做是我们宇宙的结局。我也给出一个认真的，尽管是推测的一种可能性。在1万亿年后，遥远将来的高级文明也许能利用物理定律离开我们的宇宙，进入另一个更友好的宇宙，开始重新诞生的过程，或在时间上回到宇宙温暖的时期。

随着我们今天收到的大量的新数据，随着新的工具，如能够扫描天空的空间卫星，随着新的城市大小的原子对撞机接近完成，物理学家感到正在进入一个宇宙学的黄金时代。简而言之，对物理学家来说，对于一位宇宙起源和命运的探索者来说，一个伟大的时代即将来临。

PART ONE
THE UNIVERSE

第一部分

宇宙

第1章　宇宙诞生时的情景

诗人只想把他的头脑放入天空抒发情怀。逻辑学家却想把天空放入他的头脑探寻秘密。结果分裂的是他的头脑。

——G．K．切斯特（G．K．Chesterson）

当我是一个孩子的时候，我内心的信仰有冲突。我的双亲是在佛教的传统下长大的。但我每周去主日学校上课，我喜欢这里讲的有关鲸鱼、方舟、盐柱、肋骨和苹果的圣经故事。这些古老的寓言让我着迷，这些内容是我最喜欢主日学校的地方。对我来说，有关大洪水、燃烧的丛林和逝去的流水，比起佛教的圣歌和沉思冥想更让我激动不已。事实上，这些古代的有关英雄事迹和悲剧的传说给我上了一堂生动的道德和伦理课，这些教育伴随了我的一生。

在主日学校里，有一天我们学习“创始”。读到上帝在天上雷鸣般地说：“让世界充满光明！”这些话语听起来比有关“涅槃”的沉思冥想更为生动。出于好奇，我问我的主日学校老师：“上帝有母亲吗？”平时她回答问题总是很果断，每次都给我深刻的道德教育。然而，这一次她被问住了，她迟疑地说上帝大概没有母亲吧。我问她：“那么上帝是从哪来的呢？”她咕哝着说，关于这个问题她要问问牧师。

我当时没有认识到我意外地触及到一个重大的神学问题。我迷惑了，因为在佛教中根本没有上帝，只有无始无终的永恒的宇宙。后来，当我研究有关世界的神话时，我知道了在宗教上有两种类型的宇宙论：一种理论是上帝在一瞬间创造了宇宙，另一种理论是宇宙过去、现在和将来都永远如此。

我想，两种理论不可能都是对的。

后来，我开始发现这些共同的主题贯穿在很多其他的文化中。例如，在中国的神学中，开始时有一个宇宙蛋。幼儿上帝盘古几乎是永久地居住在这个漂浮在无形的混沌海上的蛋中。当他最终孵化出世后，他长得无比地大，每天长10英尺多（3米多），蛋壳的上半部分变成了天，下半部分变成了地。一万八千年后，他死了，诞生了我们的世界，他的血变成了河，他的眼变成了太阳和月亮，他的声音变成了雷。

盘古神话以各种方式反映了一个在其他宗教和古代神学中所建立的主题，即宇宙是从无到有创造的。在希腊神学中，宇宙起源于混沌状态。事实上，混沌一词来源于希腊意思为“深渊”这个词。这个毫无特色的空洞通常被描绘为一个海洋，在巴比伦和日本的神学中就是这样描绘的。这个主题也出现在古埃及神学中，太阳神Ra（拉。被画成鹰头而戴太阳之冠的古埃及人的主神。——译者注）是从漂浮的蛋中出现的。在玻利尼西亚神学中，宇宙蛋被一个椰子壳代替。玛雅人相信的故事又有

一些变化，宇宙诞生，但五千年后最终死亡，然后又一次一次复兴，诞生和毁灭无休止地循环。

这些从无到有的神话是与佛教的宇宙论及某种形式的印度教截然不同的。在这些神学中，宇宙是永恒的，无始无终的。存在的级别有很多，最高的是“涅槃”，它是永恒的，只有通过沉思冥想才能达到。在印度佛教的教义中写道：“如果上帝创造了世界，在创造世界之前他在哪里呢？……要知道世界不是创造的，就像时间那样没有开始和终结。”

这些神学明显地互相矛盾，不能明确地说出谁对谁错。它们是相互排斥的：宇宙或者有开始，或者没有，显然没有折中的余地。

然而今天似乎出现了一个解决方案，这是由全新的科学世界的发展，由新一代的翱翔在外层空间的强大科学仪器所得出的结果。古代神学依赖的是讲故事的人的智慧解释世界的起源。今天，科学家则利用一组卫星、激光、重力波探测器、干涉仪、高速超级计算机和因特网，革新我们对宇宙的理解，给我们有关宇宙起源的更加引人注目的描述。

从科学探测数据逐渐得出的是两种相互对立的神学的合成。科学家推测，“起源”也许在无止境的“涅槃”海洋中重复发生。在这个新的图片中，我们的宇宙可以比做漂浮在巨大“海洋”上的一个气泡，在这个“海洋”上不断有新的气泡形成。根据这个理论，宇宙像开水中形成的气泡，在不断地产生，漂浮在一个更大的舞台上，即一个11维的超空间“涅槃”上。越来越多的物理学家认为我们的宇宙的确是从一次火灾中，从一个大爆炸中产生的，但它也与其他宇宙的永恒的海洋并存。如果我们是对的，大爆炸甚至就在你读这本书时正在发生。

全世界的物理学家和天文学家现在都在推测这些并行的世界会是什么样子，服从什么规律，它们怎样诞生，最终如何死去。大概这些世界是荒无人迹的，没有生命的基本要素。或者也许它们只是看上去像我们的宇宙，被一个单一的使这些宇宙脱离我们宇宙的量子事件所分开。一些物理学家推测，也许有一天，随着我们生存的宇宙变老和变冷，生命难以继续维持，我们将不得不离开它，逃到另一个宇宙中去。

驱动这些新理论的动力是从空间卫星拍照宇宙创建时留下的残迹所得到的大量的数据。最显著的是，科学家现在将零点定在大爆炸发生后仅380000年后所发生的事情。那时，宇宙创建时的余晖首次充满了宇宙。这种从宇宙创建时所产生的辐射的最引人注目的描述大概是从WMAP卫星的新仪器得来的。



WMAP卫星

2003年2月，一些通常持保留态度的天体物理学家在谈论从最近一颗卫星得到的精确数据时，异口同声地赞叹道："不可思议！""一个新的里程碑！"WMAP（威尔金森微波各向异性探测器）是以宇宙学家大卫·威尔金森（David Wilkinson）的名字命名的，于2001年发射升空，已给予科学家前所未有的精确的年龄仅有380000年的早期宇宙的详细图片。从诞生恒星和星系的原始火球留下的巨大能量环绕了我们的宇宙几十亿年。今天，它最终被WMAP卫星异常详细地捕捉在影片上，产生了一幅以前从未见过的天空照片，惊人地、详细地呈现大爆炸所产生的微波辐射。这些辐射被《时代》周刊叫做"创世的回波"。天文学家再也不会以同样的方式看待天空了。

普林斯顿大学高等学术研究所的约翰·巴赫恰勒（John Bahcall）说："WMAP卫星的发现代表了宇宙学从推测到精密科学的跨越。"从宇宙历史的早期得到的这些数据使宇宙学家首次能够精确回答远古时代的所有问题，自从人类第一次看到夜晚天空的美丽景色，这些问题就一直困惑着人类，并激发起他们的好奇心。宇宙有多大年纪了？宇宙是由什么构成的？宇宙的命运是什么？

（1992年的前一颗COBE〔宇宙背景探测卫星〕给了我们这些充满天空的背景辐射的第一张聚焦不好，从而模糊不清的图片。尽管这个结果是革命性的，但是因为它给出的早期宇宙的图片太不清楚了，所以令人失望。但这并没有妨碍出版界将这张照片激动地称为"上帝的脸"。然而，从COBE卫星得到的这张模糊的照片更确切的说法应该是代表宇宙幼年的"婴儿照片"。如果今天的宇宙是一个80岁的老人，则COBE卫星和后来的WMAP卫星所得到的照片是一个新生的不到1天的宇宙。）

WMAP卫星能够给我们前所未有的宇宙幼年的照片的原因是，夜晚的天空像一架时间机器。因为光传播的速度是有限的，我们在夜晚看到的星星是它过去的样子，而不是现在的样子。光从月球到达地球需要1秒多钟，因此当我们凝视月亮时，我们看到的是它1秒钟以前的样子。光从太阳到达地球需要大约8分钟。同样，我们在天上看到的很多熟悉的星星是如此之远，光从这些星星到达我们的眼睛需要10到100年。换句话说，它们距离地球10到100光年。1光年大约是6万亿英里（约9.656万亿千米），或光1年走过的距离。从遥远星系来的光可能有几亿到几十亿光年之远。结果，这些光代表了"化石"光，有些甚至是在恐龙出现之前就发射出来的光。我们用天文望远镜能够看到的有些天体叫做类星体，它们是巨大的发动机，在可见宇宙边缘附近发出难以想象的能量，这些类星体离地球120亿到130亿光年。现在，WMAP卫星已检测到

甚至是在此之前从创造宇宙的原始火球所发出的辐射。

为了描述宇宙，宇宙学家有时采用从曼哈顿100多层高的帝国大厦向下看的例子来说明。当你从顶层向下看时，你仅仅能够看到街道水平面。如果帝国大厦的基础代表大爆炸，那么从顶层向下看，遥远的星系将位于第10层。通过地球上的望远镜看到的遥远的类星体将位于第7层。WMAP卫星所测量的宇宙背景则仅高出街道半英寸（约1.27厘米）。这样WMAP卫星测量得出的宇宙年龄为137亿年的准确度达到令人吃惊的1%。

WMAP卫星完成的使命是十几年来天体物理学家艰苦工作所达到的顶点。WMAP卫星的设想是在1995年首次提交给NASA（美国国家航空航天局）的，两年之后得到认可。在2001年6月30日，NASA将WMAP卫星搭载在德尔塔II（DeltaII）火箭上，将它发射到位于地球和太阳之间的太阳轨道上。目标仔细选在拉格朗日点2（或L2点，一个特殊的靠近地球的相对稳定点）。从这一有利的地点，该卫星总能背向太阳、地球和月亮，因此能够得到完全不受障碍的宇宙的视野，它每6个月完整地扫描一次整个天空。

它的仪器是最新式的。利用它的强大的传感器，它能够检测大爆炸所留下的充斥宇宙的微弱的微波辐射，但是这些辐射大部分被我们的大气吸收掉了。这颗由铝合金和复合材料制造的卫星内径3.8米（11.4英尺），外径5米（15英尺），重840千克（1850磅）。它有两架背靠背的望远镜聚焦来自周围天空的微波辐射，它最终将数据用无线电发回到地球。它的电源仅419瓦，相当于5只普通的灯泡。离开地球100万英里（约161万千米），WMAP卫星位于地球大气的干扰之外，微弱的微波背景辐射不会被地球大气遮挡，并且能够持续不断地观察整个天空。2002年4月，该卫星完成了对整个天空的首次观察。6个月后做了第二次整个天空的观察。今天，WMAP卫星给了我们最完善的、详细的微波辐射图，这是以前从来没有得到过的。1948年，乔治·伽莫夫和他的小组曾首先预言了WMAP卫星所检测的微波背景辐射。他还指出这一辐射有一个与其相关的温度。WMAP卫星测量的这个温度比绝对零度K（-273.15℃）高一点，在绝对温度2.7249至2.7251度（K）之间。

WMAP卫星所拍摄的天空图用肉眼看上去并不怎么有趣，只是一群随机分布的斑斑点点。然而，这些斑斑点点却让一些天文学家激动得落下眼泪，因为它们代表了在宇宙创造之后不久所发生的大爆炸所产生的原始火灾的波动和不规则。这些小的波动就像“种子”一样从此以后无限膨胀，就像宇宙本身向外爆炸一样。今天，这些小的种子发展成我们所看到的照亮天空的星团和星系。换句话说，我们所在的银河系（Milky Way galaxy）和我们周围的星团曾经是这些波动之一。通过测量这些波动的分布，我们看到星团的起源就像画在天上的宇宙织锦上的小点。

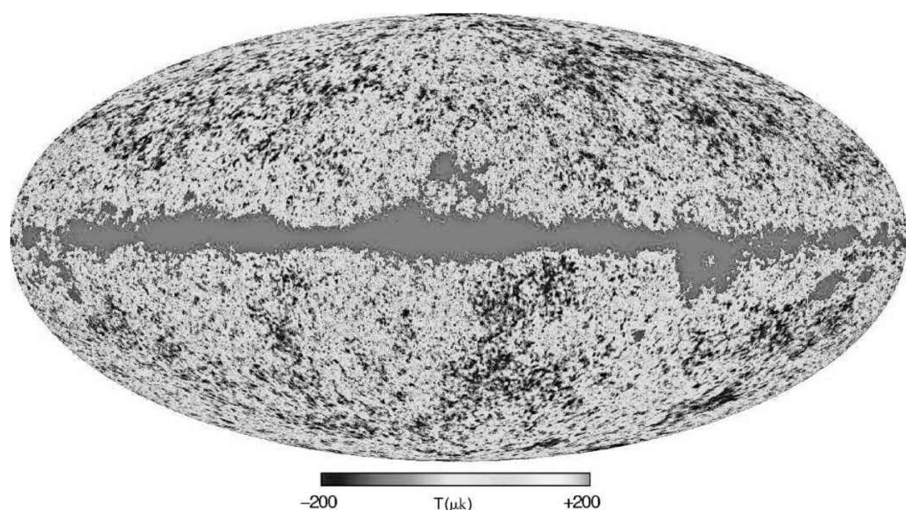


图1　这是WMAP卫星拍照的宇宙的“婴儿照片”，因为拍的是它仅有380000岁时的照片。每个点很可能代表在创造余晖中的微小量子波动，它们随后膨胀，创造了我们今天看到的星团和星系。

今天，大量的天文数据积累的速度超过了科学家建立理论的速度。事实上，我认为我们正进入一个宇宙理论的黄金时代。（尽管WMAP卫星给人深刻的印象，但与欧洲2007年要发射的普朗克〔Planck〕卫星相比，它可能会成为一个矮子。普朗克卫星将给天文学家更加详细的有关微波背景辐射的图片。）在多年的思索和疯狂的猜想之后，今天宇宙论终于成熟。在历史上，宇宙学家因名声不是太好而感到痛苦。他们满怀激情所提出的有关宇宙的宏伟理论仅仅符合他们的一点可怜的数据。正如诺贝尔奖获得者列夫·兰道（Lev　Landau）所讽刺的：“宇宙学家常常是错误的，但从不被怀疑。”科学界有句格言：“思索，更多的思索，这就是宇宙学。”

20世纪60年代后期，我在哈佛大学主修物理，我考虑是否有研究宇宙学的可能性。从童年开始我就对宇宙的起源着迷。然而，只要看一看这个领域就知道它令人困窘。它根本不是一门实验科学，不能用精密的仪器检验你的假设，而是一些不精确的猜测的理论。宇宙学家忙于激烈地争论，世界是在宇宙大爆炸时诞生的？还是自始至终以稳定的状态一直存在？但是由于数据太少，各种理论的数量超过了数据的数量。事实上，数据越少，争论越激烈。

在整个宇宙学的历史中，由于可靠数据太少，导致天文学家的长期的不和和痛苦，他们常常几十年愤愤不平。例如，就在威尔逊山天文台的天文学家艾伦·桑德奇（Allan　Sandage）打算做一篇有关宇宙年龄的讲演前，先前的发言者辛辣地说：“你们下一个要听到的全是错的。”当桑德奇听到反对他的人赢得了很多听众，他咆哮着说：“那是一派胡言乱语。它是战争——它是战争！”



宇宙的年龄

天文学家一直渴望知道宇宙的年龄。几个世纪以来，学者、牧师和神学家一直试图估计宇宙的年龄，在他们的探讨中所用的唯一方法是自亚当和夏娃所产生的人类的宗谱。在20世纪，地质学家利用岩石中残存的放射性元素给出地球年龄的最佳估计。与此相比，今天的WMAP卫星测量了大爆炸的回波，给我们最具权威的宇宙的年龄。WMAP卫星数据揭示，我们的世界是在137亿年前发生的剧烈的大爆炸中诞生的。

（多年来，一个困扰宇宙学的最令人不安的事实是，由于数据不完善，计算得出的宇宙的年龄常常比行星和恒星的年龄要年轻。以前估计的宇宙的年龄是10亿到20亿年，与地球的年龄45亿年和最老的恒星的年龄120亿年相矛盾。现在，这些矛盾消除了。）

WMAP卫星对希腊人2000年前提出的宇宙是由什么构成的争论问题，给出了意想不到的转折性的答案。过去一个世纪，科学家相信他们已经知道了这个问题的答案。经过上千次艰苦的实验，科学家得出结论：宇宙是由大约100多种不同类型的原子构成的。这些原子在元素周期表上按次序排列，第一个是氢元素。这一理论成为现代化学的基础，事实上，在每个高中的科学课程上都是这样教的。WMAP现在毁灭了这种信念。

为了确认以前的实验，WMAP卫星得出我们所看见的周围的物质，包括山、行星、恒星和星系只占宇宙总物质和总能量的4%。（在这4%的物质中，绝大部分是氢和氦，大约只有0.03%是重元素。）宇宙大部分实际上是由完全不知道起源的、神秘的、不可见的物质构成的。我们所熟悉的构成我们世界的元素仅占宇宙的0.03%。在某种意义上，科学被拉回到几个世纪以前，那时还没有出现原子假设，因为物理学家掌握了事实：宇宙是由全新的、不知道的物质和能量形式所支配的。

根据WMAP卫星的观测，宇宙的23%是由奇怪的、不确定的、叫做暗物质的物质构成的。这些物质有重量，以巨大的光环围绕着星系，但是它们完全看不见。暗物质在我们的银河系是如此普遍和丰富，以至它的重量为所有星星的10倍。尽管看不见，这种奇怪的暗物质能够间接地被科学家观察到，因为它能使星光（starlight）弯曲，就像玻璃那样，因此可以靠它所产生的光线扭曲量来定位。

谈到从WMAP卫星数据得到的奇怪结果时，普林斯顿大学天文台的天文学家约翰·巴赫恰勒（John Bahcall）说：“我们生活在一个难以置信的、疯狂的宇宙中，但它是一个我们现在已经知道了它的详细特性的宇

宙。”

但是，从WMAP卫星数据得出的最令人吃惊的大概是宇宙的73%是由完全不知道的叫做暗能量形式构成的，或隐藏在空间的看不见的能量构成的。爱因斯坦在1917年曾提出暗能量的概念，后来又放弃它（他将它称为他的“最大的错误”）。现在暗能量又作为整个宇宙的驱动力重新出现了。现在人们相信这个暗能量产生一个新的反引力场，它使星系分开。宇宙自身的最终命运将由暗能量决定。

目前，没有一个人知道暗能量是从何而来。华盛顿大学西雅图分校的天文学家克雷格·奥甘（Craig Hogan）承认：“坦率地说，我们确实不理解它，我们知道它的效果，但我们完全没有线索……每个人都没有它的线索。”

如果我们采用最新的亚原子粒子理论来试图计算这个暗能量的值，我们发现它的数值为10^{120}，即1的后面跟120个零。这个理论和经验的矛盾远远超出了科学历史上发现的最大差距。这是一个最令我们困惑的问题——我们最好的理论不能计算整个宇宙最大能量源的值。可以肯定，有很多很多的诺贝尔奖在等待勤奋工作的、能够揭示暗物质和暗能量秘密的人。



膨胀

天文学家仍然试图竭力处理从WMAP卫星得来的大量数据。因为它将古老的宇宙概念一扫而光，一个新的宇宙学的图景正在出现。查尔斯·L．班尼特（Charles L．Bennett）是帮助建立和分析WMAP卫星的国际小组的领导人，他说：“我们已经奠定了统一的、一致的宇宙学理论的基础。”迄今为止，最先进的理论是“宇宙膨胀论”，它是大爆炸理论的重大更新，该理论是麻省理工学院的物理学家艾伦·古思（Alan Guth）首先提出的。在膨胀过程中，在一万亿分之一的一万亿分之一秒，一个神秘的反引力的力引起宇宙比预想的更快的速度膨胀。该膨胀期是难以想象的爆炸式的，宇宙膨胀的速度比光速更快。（这不违反爱因斯坦对任何物体的速度都不能超过光速的断言，因为膨胀的空间是真空的空间。而实质性的物体不能超越光速。）在几分之一秒中，宇宙不可想象地扩大了10^{50}倍。

为了直观地说明此膨胀期的动力，想象一个正在膨胀的气球，在气球表面画了一个星系。我们所看到的充满了星星和星系的宇宙都位于这个气球的表面上，而不是在气球的内部。现在在气球上画一个用显微镜才可见的小圆圈。此小圆圈代表可见的宇宙，即用我们的望远镜所看到的一切。（打个比方，如果整个可见的宇宙像亚原子粒子那样小，那么实际的宇宙比我们看见的我们周围的可见宇宙要大许多许多。）换句话说，膨胀的速度是如此之快，以至于超出我们的可见宇宙的整个区域并将永远超出我们可以达到的范围。

事实上，膨胀是如此巨大，在我们的视野范围内，气球看上去似乎是平的。这一事实已被WMAP卫星实验证实了。同样，地球看上去似乎是平的，因为与地球半径相比我们人太小了。宇宙看上去是平的，只是因为它在更大的尺度上是弯曲的。

如果假定早期的宇宙经历了膨胀的过程，我们就可以毫不费力地解释很多有关宇宙的谜团，比如为什么它看上去是平坦的和均衡的。物理学家乔尔·普里马克（Joel Primack）在评论膨胀理论时说过：“没有一个理论能像膨胀理论这样完美，以前曾认为它是错的。”



多元宇宙

尽管膨胀理论与WMAP卫星得到的数据一致，但它仍然回答不了一些问题，如由什么引起膨胀？是什么引发了反引力使宇宙膨胀？有50多种建议解释是什么引起膨胀，是什么最终终止膨胀，创建了我们所看见的我们周围的宇宙。但未达成共识。大多数物理学家赞同快速膨胀期这一核心思想，但是没有确切的建议回答膨胀背后的发动机是什么？

因为无人确切地知道膨胀是怎样开始的，所以同一机理总有可能再次发生，即膨胀式的爆炸可能重复发生。斯坦福大学的俄罗斯物理学家安德烈·林德（Andrei Linde）就提出了这样的想法，即不管是什么机理引起部分宇宙突然膨胀，该机理可能仍然在起作用，也许会意外地引起宇宙其他遥远的区域也发生膨胀。

根据这个理论，一小片宇宙可能突然膨胀、“发芽”，萌生一个“子代”宇宙或“婴儿”宇宙，这些宇宙又可能萌生另一个婴宇宙，如此不断进行下去。想象吹一个肥皂泡到空中。如果我们使劲吹，我们看到有些肥皂泡分成两半，产生新的肥皂泡。宇宙可能会以相同的方式不断产生新的宇宙。如果这是真的，我们可能生活在这样一个宇宙的海洋上，每个宇宙像一个漂浮在其他肥皂泡海洋上的一个肥皂泡。事实上，比“宇宙”更确切的词应该是“多元宇宙”（multiverse）或“无限维度宇宙”（megaverse）。

林德（Linde）将这一理论叫做永恒的、自我再生的膨胀，或“混沌膨胀”（chaotic inflation），因为他预想的是一个绝无终止的平行宇宙连续膨胀的过程。首次提出膨胀理论的艾伦·古思（Alan Guth）说：“膨胀理论几乎是强迫我们接受多元宇宙的思想。”

这一理论也意味着，我们的宇宙可能在某个时候萌生了它自己的一个婴宇宙。也许我们自己的宇宙也是从更古老、更早期的宇宙萌生出来的。

马丁·里斯（Martin Rees）爵士是大英帝国皇家学院的天文学家，他说：“我们通常所说的‘宇宙’可能只是全体成员中的一员。可能存在不计其数的规律不同的其他宇宙。我们所在的宇宙属于与众不同的子集，在这个宇宙中允许复杂的事物和意识得以发展。”

所有这些关于多元宇宙主题的研究活动让人们开始思索，这些其他的宇宙看起来会是什么样子？是不是也有生命？是不是最终有可能与他们取得联系？加利福尼亚理工学院、麻省理工学院、普林斯顿大学和其

他研究中心的科学家已经进行了计算，以确定进入平行宇宙是不是符合物理学的规律。

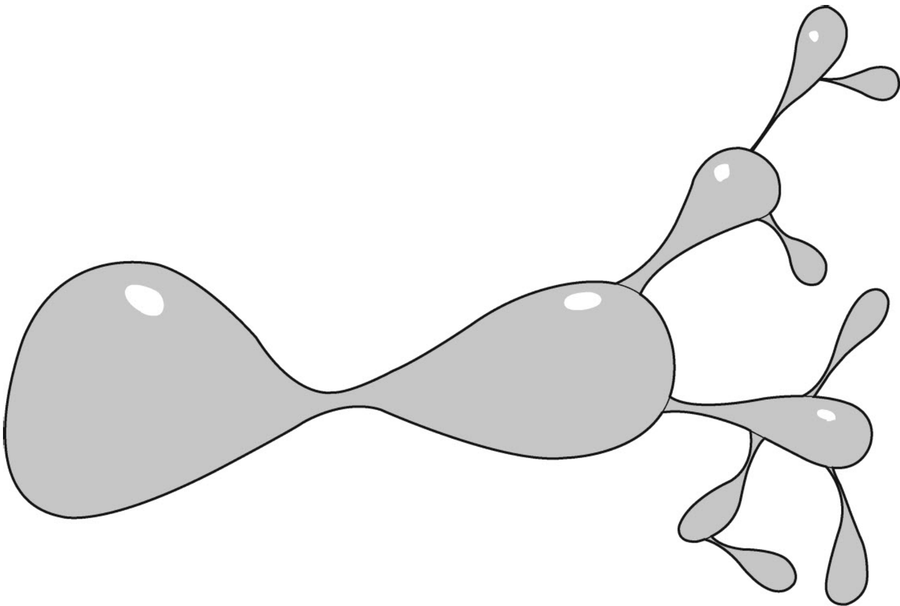


图2　越来越多的理论证据支持多元宇宙的存在，在多元宇宙中，整个宇宙不断地发芽或萌生其他的宇宙。如果这是真的，它将统一两种重大的宗教神学，“创始”和“涅槃”。在无始无终的“涅槃”的织构中“创始”不断发生。



M理论和11维空间

科学家曾以怀疑的眼光审视平行宇宙这一思想，因为它太神秘、太夸张和太奇异了。任何敢于研究平行宇宙的科学家都会受到嘲笑和伤害他的事业生涯，因为即便是现在也没有实验证据证明它们的存在。

但是，近年来潮流急剧改变，本星球杰出的思想家都在极为兴奋地探讨这一课题。这种突然的转变是由于一个新的理论，“弦理论”的出现，它的最新版本叫做“M理论”。该理论让我们不仅有可能揭示多元宇宙的性质，还让我们能“解读上帝的心思”，正如爱因斯坦曾经雄辩地指出的那样。如果这一理论被证明是正确的，这将代表过去2000年自希腊人首先开始探索单一的、一致的和全面的宇宙理论以来的物理学研究的最高成就。

关于弦理论和M理论所发表的论文数量是惊人的，有几万篇。关于这个课题举办了几百次国际会议。世界上每一个主要的大学或者有一个小组在研究弦理论，或者拼命地想认识它。尽管此理论不能用我们今天的薄弱的仪器来检测，但它仍然激发了物理学家、数学家，甚至经验主义者的极大兴趣。他们希望能在将来利用外层空间强大的引力波检测器和巨大的原子对撞机检测此理论的正确性。

最终，这个理论可能回答自大爆炸理论提出以来一直困扰宇宙学家的问题：在大爆炸之前发生了什么？

这要求我们运用物理学知识的全部力量，运用几个世纪以来所积累的每一个物理发现。换句话说，我们需要一个“万物的理论”，一个包括驱动宇宙的各种物理力的理论。爱因斯坦花费了他生命的最后30年追寻这种理论，但他最终未能成功。

目前，能够解释控制宇宙力多样性的最重要的（和唯一的）理论是弦理论，或者它的最近的化身M理论。（M代表“膜”，也包含“神秘”、“魔法”甚至“母亲”的意思。尽管弦理论和M理论基本上是相同的，但M理论是一个更神秘的、更完善的、统一各种弦理论的框架。）

自古希腊以来，哲学家就已推测：最终组成大块物质的可能是微小的叫做原子的粒子。今天，用我们强大的原子对撞机和粒子加速器，我们已经能够将原子分裂为电子和原子核，原子核又可分裂为更小的亚原子粒子。但是我们找不到一个优雅的、简单的框架，从加速器发现的是几百个亚原子粒子，名字也很奇怪，如：中微子、夸克、介子、轻子、强子、胶子、W玻色子，等等。很难相信，大自然在它最基本的层次上

会产生这么多令人糊涂的奇异的亚原子粒子群。

弦理论和M理论是根据一个简单的和美妙的思想，即构成宇宙的让人困惑的各种亚原子粒子类似于可以在小提琴琴弦上演奏的音调，或在鼓膜上演奏的鼓点。（“弦”和“膜”不是普通的弦和膜，它们存在于第10维和第11维超空间。）

传统上，物理学家把电子看做是无限小的点粒子。这意味着物理学家不得不为他们发现的几百种亚原子的每一个都引进不同的点粒子，结果造成十分混乱的局面。但是根据弦理论，如果我们有一个超级显微镜能够探测到一个电子的心脏，我们将会看到它根本不是点粒子，而是一个很小的振动的弦。只是因为我们的仪器太粗糙，它才看上去是一个点粒子。

这些很小的弦依次以不同的频率振动和共鸣。如果我们拨动这个振动的弦，那么它就会改变模式，变成另一个亚原子粒子，如夸克粒子。再把它拨动，它又将转变成中微子。用这种方式，我们可以将众多的亚原子粒子解释为不是别的，而是弦的不同的音调。我们现在可以将实验室看到的几百个亚原子用一个单一的弦这个物体来代替。

用这个新的词汇，经过几千年的试验仔细构造的物理学定律不是别的，只是人们为弦和膜书写的协调规律。化学定律是人们可以在这些弦上演奏的悦耳音调。宇宙是弦的交响曲。爱因斯坦意味深长地所谱写的有关“上帝的心思”是整个超空间的宇宙音乐共鸣。（这又产生了另一个问题：如果宇宙是弦的交响曲，那么有作曲家吗？我在后面的第12章讨论这个问题。）

音乐类比	弦的对照物
音乐符号	数学
小提琴弦	超弦
音调	亚原子粒子
协调规律	物理
悦耳的音调	化学
宇宙	弦的交响曲
“上帝的心思”	整个超空间的音乐共鸣
作曲家	？



宇宙的终结

WMAP卫星不仅让我们更精确地看到早期的宇宙，它也给出我们的宇宙将如何死亡的最详细的图片。正如神秘的反引力在创世之初将星系推开一样，这同一个反引力正将宇宙推向它的最终命运。以前，天文学家认为宇宙的膨胀正逐渐减慢。现在，我们认识到，宇宙的膨胀是加速的，星系正以不断增加的速度飞快地离开我们。构成宇宙物质和能量73%的同一个暗能量正在加速宇宙的膨胀，以日益增加的速度将星系推开。空间望远镜研究所的亚当·里斯（Adam　Riess）说："宇宙就像一个见到红灯减慢速度的驾驶员，当红灯变成绿灯时踩油门加速前进。"

除非有什么意外的事情发生使这个膨胀过程逆转，在1500亿年内我们的银河系将变成一个孤岛，在银河系附近99.99999%的星系将跑到可见宇宙的边缘之外。夜晚天空中熟悉的星系将跑到离开我们如此遥远的地方，以致它们的光线永远也不能到达我们。这些星系本身不会消失，但它们离得太远，我们的望远镜不能再看到它们。尽管可见宇宙包含大约1000亿个星系，但在1500亿年后仅能见到局部超星系团中的几千个星系。在更加遥远的将来，只有由36个星系组成的我们的本地星群构成整个可见的宇宙，几十亿个星系将漂出地平线的边缘之外。（这是因为本地星群的引力足以克服膨胀力。反过来说，当遥远的星系离开视野，生活在这个黑暗世纪的任何天文学家可能根本检测不到宇宙的膨胀，因为本地星系群内部不膨胀。在遥远的未来，第一次分析夜晚天空的天文学家可能认识不到有任何膨胀，于是得出结论说：宇宙是静态的，仅由36个星系构成。）

如果这个反引力继续下去，宇宙将最终死亡，形成大冻结。由于深层空间的温度趋于绝对零度，分子本身都很难运动，宇宙中的所有智能生命将最终被冻死。在几万亿的几万亿年之后，恒星将不再发光，它们的核火因燃料耗尽而熄灭，夜晚的天空将永远是漆黑一片。宇宙膨胀留下来的仅仅是由矮星、中子星和黑洞构成的寒冷的、死亡的宇宙。更远更远的将来，黑洞本身也将蒸发掉它们的能量，留下一个毫无生气的由漂浮基本粒子颗粒构成的寒冷的薄雾。在这样一个荒凉的寒冷的宇宙中，任何可以想象的生命形式实际上都是不可能的。在这样一个冻结的环境中，热力学的铁律不允许有任何信息传递，所有的生命必然灭绝。

在18世纪就有人开始认识到宇宙最终将可能冰冻而死。查尔斯·达尔文（Charles　Darwin）在评论物理学定律似乎注定了所有智能生命必将灭亡这一令人沮丧的结局时写道："我相信在遥远将来的人类比起现在将是更加完善的生物，一想到人类和所有其他有知觉的生物在这个长期持续的缓慢过程中注定要完全灭绝，让人不能忍受。"不幸的是，从

WMAP卫星得到的最新数据似乎证实了达尔文的担忧。



逃往超空间

物理学定律决定了宇宙间的智能生命将注定面临死亡。但是也有进化定律，当环境改变时生命可以适应环境而生存下去，或者死亡。因为生命不可能适应因冻结而死亡的宇宙，因此为了避免死亡唯一的选择是离开我们这个宇宙。当宇宙面临最终死亡的时候，几万亿年后的文明是不是有可能具备了必要的技术，乘坐空间“生命之船”离开我们的宇宙，漂向另一个更年轻、更温暖的宇宙呢？或者是不是他们能够利用超级技术构建“时间弯曲”，返回到过去他们自己的那个更温暖的年代呢？

另一个极端的构思是：有些物理学家提出了一些似乎可信的计划，利用可利用的最先进的物理学，提供最现实的空间入口或通往另一个宇宙的通路。当物理学家计算是不是人们可能利用“外来的能量”和黑洞找到通往另一个宇宙的通道时，全世界物理实验室的黑板上充满了抽象的方程。几百万年到几十亿年以后的文明是不是能在技术上开发出已知的进入另一个宇宙的物理定律呢？

剑桥大学的宇宙学家斯蒂芬·霍金（Stephen Hawkin）曾俏皮地说：“虫洞，如果存在的话，会是快速空间旅行的理想通道。你可以穿过虫洞到星系的另一侧，然后赶回来吃午餐。”

如果“虫洞”和“空间入口”尺寸太小，无法让大批的人离开我们的宇宙，那么还有另一个选择：将高级智能文明的总信息量浓缩到分子级别，把它们送到通道的入口，然后在另一端重新自我装配。用这种方式，整个文明可以将它的种子通过空间通道，然后重建它的光辉。超空间不是理论物理学家手中的玩物，在宇宙面临死亡时，它是拯救智能生命的最终途径。

但是要完全理解这些内容的含义，我们必须首先了解宇宙学家和物理学家是怎样经过千辛万苦才得到这些令人吃惊的结论的。在《平行宇宙》这本书中，我们将审阅宇宙学的历史，几个世纪以来在这个领域所产生的矛盾，最后阐述与所有实验数据相符合的膨胀理论，以及我们不得不接受的多元宇宙的概念。

第2章　荒谬的宇宙

如果在创世时我在的话，我会给出一些有用的暗示，让宇宙的秩序变得更好。

——智者阿方斯（Alphonse the Wise）

该诅咒的太阳系。这里的光线太坏、行星太遥远、彗星令人烦恼、发明才能太弱，我能创造一个更好的宇宙。

——杰弗里勋爵（Lord Jeffrey）

莎士比亚在戏剧《皆大欢喜》（*As You Like It*）中写下一段不朽的话：

整个世界是一个舞台，
所有的男人和女人只是演员，
他们都将进场和退场。

在中世纪，世界的确是一个舞台，但它是一个小的静态的舞台，是由一个小的扁平的地球构成的，在它周围有天体以其完美的天体的轨道神秘地绕它运动。彗星被看做是预示国王死亡的预兆。当1066年的大彗星掠过英国的上空时，它吓坏了哈罗德（Harold）国王的撒克逊（Saxon）士兵，他们很快输给了征服者威廉（Willian）的进攻得胜的军队，奠定了现代英国形成的舞台。

同一颗彗星1682年又一次掠过英国的上空，又一次在整个欧洲引起恐慌。似乎每一个人，从农民到国王都被这颗扫过天空的意想不到的天上游客所迷惑。这颗彗星从何处来？到何处去？它意味着什么？

埃德蒙·哈雷（Edmund Halley）是一个富有的绅士，一个业余天文学家，他对这颗彗星十分着迷，于是他去征求他那个时代最伟大的科学家之一，艾萨克·牛顿的意见。当他问牛顿是什么力可能控制这颗彗星的运动时，牛顿平静地回答：这颗彗星沿椭圆轨道运动，这是由与距离平方成反比的力决定的。（即作用在这颗彗星上的力随着离开太阳距离增加按平方关系而减小。）牛顿说，他已经用他发明的望远镜，即今天全世界天文学家所用的反射望远镜跟踪这颗彗星，它的轨道遵循他在20年前建立的引力定律。

哈雷感到震惊，有些不大相信，他说："你怎么知道的？"牛顿回答道："什么？我计算出来的。"哈雷做梦也没有想到自人类开始凝视天空就一直使他们迷惑的天体的秘密能够用新的引力定律来解释。

哈雷认识到这一突破的巨大意义，他慷慨地提供经费出版这一新的

理论。1687年，在哈雷的鼓励和资助下，牛顿发表了他的巨著《自然哲学的数学原理》（*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica/Mathematical Principles of Natural Philosophy*）。这部著作受到热烈欢迎，被看做是从未发表过的最重要的著作。一瞬间，不知道太阳系规律的科学家突然能够极其精确地预计天体的运动了。

《原理》（Principia）一书在欧洲的沙龙和宫廷的影响是如此巨大，以至诗人亚历山大·蒲伯（Alexander Pope）写道：

自然和自然规律埋藏在黑暗之中，
上帝说：让牛顿去发现它！让一切大放光明。

（哈雷认识到：如果这颗彗星的轨道是一个椭圆，人们也许能够计算什么时候它会再次掠过英国上空。寻找历史记录，他发现1531、1607和1682年的彗星的确是同一颗彗星。就是这颗彗星曾经在1066年创建现代英国时起了关键的作用，在整个有记录的历史上人们都曾看到这颗彗星，包括朱利叶斯·恺撒〔Julius Caesar〕。哈雷预计这颗彗星将在1758年回来。这时牛顿和哈雷都早已去世。当这颗彗星精确地按照日程表在这一年的圣诞节返回时，人们把这颗彗星命名为哈雷彗星。）

牛顿早在20年前发现了万有引力定律，那时鼠疫迫使剑桥大学关闭，牛顿被迫回到他在伍尔斯索普（Woolsthorpe）的乡村庄园。他深情地回忆到：他在庄园周围散步时看到一个苹果掉下来。这时他问了自己一个最终改变人类历史进程的问题。他问道：如果苹果掉下来了，月亮也会掉下来吗？在天才的一闪念间，牛顿认识到苹果、月亮和行星全都服从同一个引力规律，即在与距离平方成反比的引力作用下它们全都会下落。当牛顿发现17世纪的数学太原始不能解这个引力定律时，他发明了数学的新分支——微积分，用来确定下落苹果和月球的运动。

《原理》一书也包含牛顿写下的力学定律，即确定地面物体和天体抛物线轨道的运动定律。这些定律奠定了设计机械、利用蒸汽能、制造机车的基础，这些进步为工业革命和现代文明铺平了道路。今天，每一座摩天大楼、每一座桥梁和每一枚火箭都是按照牛顿的运动定律建造的。

牛顿不仅给了我们永恒的运动定律，他也改变了我们的世界观，给了我们全新的宇宙描绘，在这个宇宙中，控制天体的神秘定律是与控制地面物体的定律相同的。生活的舞台不再被可怕的天上的征兆所包围，应用到演员的定律也能应用到布景上。



本特利悖论

因为《原理》是这样一部雄心勃勃的巨著，所以它在宇宙构造问题上引起了一个令人烦恼的矛盾。如果世界是一个舞台，它有多大呢？它是无限的还是有限的呢？这是一个古老的问题，甚至罗马哲学家卢克莱修（Lucretius）也对这个问题着迷，他写道："宇宙在任何方向都是没有边界的。如果它有的话，在某个地方必定有一个界限。但是显然除非在一件东西的外面有其他东西包围，否则这件东西不可能有界限……整个宇宙在所有的尺度，在这一侧或那一侧，向上或向下都没有端点。"

但是牛顿的理论也揭示出任何有限和无限宇宙理论所固有的矛盾。最简单的问题也会使你陷入矛盾的泥潭。即便是牛顿沐浴在由于发表了《原理》一书所给他带来的荣誉之中，他发现他的引力理论存在一些矛盾。1692年，一个名叫列夫·理查德·本特利（Rev．Richard Bentley）的牧师写了一封措辞谨慎的、坦率的，但是令人烦恼的信给牛顿。本特利（Bentley）写道：因为引力总是吸引的，绝不是排斥的，这就意味着任何恒星的集合将会自然地聚集到一起。如果宇宙是有限的，那么夜晚的天空不会是永恒的和静态的，当恒星彼此相撞聚合成一个燃烧的超级恒星时，我们看到的将是一幅难以置信的惨不忍睹的大屠杀情景。但是本特利也指出：如果宇宙是无限的，作用在任何物体上的力，向左的和向右的，也是无限的，因此恒星将被撕成碎片。恒星将出现火灾，并被撕裂开来。

最初，本特利（Bentley）似乎把牛顿将死了。宇宙要么是有限的（将聚集成一个火球），要么是无限的（所有的恒星将爆炸而撕开）。不管哪种可能性，对牛顿提出的年轻的理论来说都是一场灾难。这个问题在历史上第一次揭示出将引力理论应用到整个宇宙时所产生的矛盾。

在仔细思考之后，牛顿回了信，他在争论中找到一个论点。牛顿倾向于宇宙是无限的，但它是完全均匀的。因此，如果一颗恒星被无限数量的星星拉向右，它就会被另一方向的另一个无限系列的星星拉向左，从而抵消了前者的作用。在每一个方向所有的力是平衡的，产生一个静态的宇宙。因此，如果引力总是吸引的，对本特利（Bentley）悖论的唯一解答是宇宙必须是均匀的、无限的。

牛顿在与本特利（Bentley）的争论中找到了一个论点。但是牛顿聪明地认识到他的回答是软弱无力的。他在一封信中承认：尽管他的回答在技术上是正确的，但内在是不稳定的。牛顿的均匀的、无限的宇宙就像一座用纸牌搭成的房屋，稍有风吹草动就会使它坍塌。人们可以计算得出：只要有一颗恒星晃动一点，马上就会引起连锁反应，星团就会立

刻开始崩溃。牛顿的软弱无力的回答只能乞求“神的力量”防止这个纸牌建造的房屋不致倒塌。他写道：“需要一个持续不断的奇迹来防止太阳和恒星在引力作用下跑到一块儿。”

对牛顿来说，宇宙就像一个在创世之初由上帝拧紧了发条的巨大的钟表，从此以后根据他的运动三定律滴答滴答地走动，不再有神的干预。但是，有的时候神也不得不偶尔干预一下，将宇宙再拧一下使它不致崩溃。（换句话说，上帝不得不偶尔干预一下，以防止生活舞台的布景不至崩溃落到演员的头上。）



奥尔贝斯悖论

除了本特利悖论外，在任何无限的宇宙中有一个更深层次的内在矛盾，叫做奥尔贝斯（Olbers）悖论，这个悖论是从夜晚天空的背景为什么是黑色产生的。早至约翰尼斯·开普勒（Johannes　Kepler）时代的天文学家就认识到：如果宇宙是均匀的和无限的，那么不管你向哪看，你都会看到从无数个恒星发出的光。凝视夜晚天空的任一点，我们的视线将最终穿过不计其数的星星，接收到无限数量的星光。因此，夜晚的天空应该是一片火海！但事实是，夜晚的天空是黑的，不是白的，几个世纪以来这成了一个微妙的，但是意义深远的宇宙矛盾。

这个悖论像本特利（Bentley）悖论一样，看上去简单，却使很多代的哲学家和天文学家苦恼。本特利（Bentley）悖论和奥尔贝斯（Olbers）悖论都与观察有关，在一个无限的宇宙中，引力和光线可以产生无限多个没有意义的结果。几个世纪以来，人们提出了很多不正确的回答。开普勒（Kepler）被这个悖论困惑得走投无路，只得推测宇宙是有限的，被一个外壳所包围，因此只有有限数量的星光能够到达我们的眼球。

对这个悖论的回答是如此混乱，以至在1987年的一项研究表明：70%的天文学教科书都给出不正确的回答。

起初，人们说星光被尘埃云吸收了，想由此解答奥尔贝斯（Olbers）悖论。1823年海因里希·威廉·奥尔贝斯（Heinrich　Wilhelm　Olbers）第一次清楚地叙述这个悖论时，他本人就是这样回答的。奥尔贝斯（Olbers）写道："地球是多么幸运啊，不是天穹每一点的星光都能到达地球！要不然亮度和热度将不可想象，比我们经受的要高90000倍，只有全能的上帝才能设计出能在这种极端环境条件下生存的生物体。"奥尔贝斯（Olbers）提出：为了地球不沐浴在像太阳光盘那样明亮的背景中，尘埃云必须吸收大量的热，地球上的生命才能够生存。例如，我们所在的银河系的火焰中心，在夜晚的天空中本应特别耀眼，但实际上它藏在了尘埃云的背后。因此当我们遥望银河系中心所在的人马星座（Sagittarius）的方向时，我们看到的不是闪烁的火球，而是一片黑暗。

但是尘埃云不能真正解释奥尔贝斯（Olbers）悖论。经过一个无限长的时间周期，尘埃云吸收来自无数恒星的阳光，最终将和恒星表面一样发光。因此，尘埃云在夜晚的天空应发光。

同样，人们可以假定：恒星离得越远就越暗淡。这是对的，但不能

回答这个悖论。如果我们观察夜晚天空的一部分，非常遥远的恒星的确很暗，但是你看得越远，你看到的星星就越多。在均匀的宇宙中这两者的效果互相抵消，夜晚的天空仍然应该是白的。（这是由于星光的强度随距离的平方减小，恒星的数量随距离的平方增加，两者抵消。）

非常奇怪的是，历史上第一个解决这个悖论的人是一位美国的神秘作家埃德加·爱伦·坡（Edgar Allen Poe），他是一位天文学的长期业余爱好者。就在他临死之前，他在一篇叫做《欧雷卡》（*Eureka：A Prose Poem*）的充满哲理的散文诗中发表了他的很多观察。其中有非常精彩的一段话：

> 如果恒星的系列是没有止境的，展现在我们面前的天空的背景应是均匀照明的，像银河系所显示的那样。因为在整个背景中绝不可能找到一个地方没有星星。因此，在这种情况下为什么我们的望远镜在数不清的方向上什么也看不见的原因是：不可见的背景距离是如此遥远，以至根本没有光线能到达我们这儿。

他最后说："到目前为止这个想法太美妙了，还无法证实。"

这是正确回答问题的关键。宇宙不是无限的老。它有起源。到达我们眼球的光线有一个有限的截止点。从最遥远恒星来的光线还来不及到达我们。宇宙学家爱德华·哈里森（Edward Harrison）首先发现爱伦·坡解决了奥尔贝斯（Olbers）悖论。他写道："当我第一次读到爱伦·坡的诗时，我惊呆了。一个诗人，最多是一位业余科学家，怎么能在140年前就认识到正确的答案，而在我们的学院里却一直讲解着错误的结论？"

1901年，苏格兰的物理学家开尔文男爵（Lord Kelvin）也发现了正确的答案。他认识到：当你遥望夜晚的天空时，你看到的是它过去的样子，而不是现在的情况。因为光的速度尽管按照地球的标准是非常之快（每秒186282英里〔每秒300000千米〕），但仍然是有限的，光从遥远的恒星到达地球需要时间。开尔文男爵（Lord Kelvin）计算得出：要想夜晚天空是白的，宇宙的范围必须扩大到几百万亿光年。但是因为宇宙的年龄没有万亿年，所以夜晚天空一定是黑的。（还有第二个对夜晚天空为什么是黑的理由，恒星的寿命是有限的，以几十亿年计。）

近来，利用哈勃空间望远镜已经有可能用实验来验证爱伦·坡解答的正确性。这些强大的望远镜又使我们能够回答甚至是孩子也能提出的问题。最远的星星在哪里？在最远的星星之外有什么？为了回答这些问题，天文学家为哈勃空间望远镜编制了程序以执行一项历史性的任务：拍摄宇宙最远之处的快照。为了捕捉最深层空间角落的极其微弱的辐射，哈勃望远镜必须完成一项前所未有的任务：在总共几百小时的时间内精确地瞄准猎户星座（Orion）附近天空的同一点，这要求该望远镜在围绕地球运转400圈的时间内要完全对准。此项目是如此之困难，不得不花费4个月的时间才完成。

2004年，全世界的报纸以头版头条新闻发布了一张极有吸引力的照片。这张照片展示从大爆炸之初的混沌中凝缩出来的10000个幼稚的星系。空间望远镜科学研究所的安东·柯克莫尔（Anton Koekemoer）宣称：“我们可能已经看到创世的终结。”此照片显示离开地球130亿光年的一团暗淡的星系，也就是说光要花费130亿年的时间才能到达地球。因为宇宙本身的年龄只有137亿年，这意味着这些星系是在创世后大约5亿年的时间形成的，这时第一批恒星和星系正从大爆炸留下的气体“汤”中冷凝出来。该研究所的天文学家马西莫·斯蒂瓦韦里（Massimo Stivavelli）说：“哈勃空间望远镜把我们带到离开大爆炸本身只有一箭之遥。”

但是又有问题产生了：在最远的星系外面有什么呢？当你凝视这张非凡的照片时，很明显在这些星系之间只有黑色。它是一个来自遥远恒星光线的一个最终的截止点。然而，这些“黑色”实际上又是微波背景辐射。因此，对夜晚天空为什么是黑色的最终回答是：夜晚天空实际上根本不是黑的。（如果我们的眼睛能够或多或少看到微波辐射，不只是可见光，我们就会看到来自大爆炸的辐射充满夜空。在某种意义上，来自大爆炸的辐射出现在每晚的夜空。如果我们的眼睛能够看到微波，我们就会看到位于最远的恒星之外的创世主。）



爱因斯坦的反叛

牛顿定律是如此地成功，以至科学花费了200多年的时间才进入下一个决定性的步骤，开始了阿尔伯特·爱因斯坦（Albert　Einstein）的工作。

爱因斯坦开始他的事业时，似乎没有什么可能令他成为这样一次革命的候选人。他1900年毕业于瑞士苏黎世（Zurich）理工学院，获得学士学位。毕业后他发现自己没有什么希望被雇佣。他的生涯被他的教授们破坏了，他们不喜欢这个常常旷课、不懂礼貌、过于自信的学生。他的恳求的、压抑的信可以说明他的痛苦程度。他把自己看成是一个失败者和他双亲的一个痛苦的经济负担。他在一封令人痛苦的信中承认他甚至想结束自己的生命，他沮丧地写道："我可怜的父母命运很惨，这么多年来没有一刻快乐过，这像一块沉重的石头压在我的心上……我只是我双亲的负担……也许我死了会更好一些。"

在绝望中，他想到转变职业，加入了保险公司。他甚至担任了教孩子这样的低级的工作，但是由于与老板的争吵被解雇了。当他的女朋友米列娃·马里克（Mileva　Maric）意想不到地怀孕之后，他悲痛地认识到，由于他没有财力娶她，他们的孩子生下来就将是私生子。（到现在也没有人知道他的私生女莉泽劳尔〔Lieseral〕后来怎样了。）当他父亲突然去世时，他感到深深地悲痛，从此留下的感情的伤疤永远也没有完全恢复。他的父亲临死时还在想他的儿子是一个失败者。

尽管1901年到1902年大概是爱因斯坦一生中最差的时期，他的同班同学马塞尔·格罗斯曼（Marcel　Grossman）通过拉关系，为他在伯尔尼（Bern）的瑞士专利局找到一个可靠的低级职员的工作，挽救了他的生涯。



相对论的矛盾

从表面上看，专利局不大可能成为启动自牛顿以来物理学最伟大革命的地方。但是专利局有它的优点。在迅速处理完堆在桌上的专利申请之后，爱因斯坦会靠在座椅的靠背上，回到他童年时的梦想中。他年轻的时候读了一本亚伦·伯恩斯坦（Aaron Bernstein）的书，《关于自然科学名人的书》（*People's Book on Natural Science*）。他回忆道："这本书我一口气将它读完。"伯恩斯坦（Bernstein）要读者想象，当电流跑过电报线时你在电流的旁边和它一起跑。爱因斯坦16岁时问自己一个简单的问题：如果你能赶上光线它会是什么样子？爱因斯坦回忆道："这样一个从矛盾中得出的原理在我16岁时就偶然发现了：如果我以速度c（光在真空中的速度）追赶一束光线，我应当看到这束光线作为空间振荡的电磁场是静止的。然而，不管是根据经验还是根据麦克斯韦（Maxwell）方程，似乎不会有这样的事情发生。"爱因斯坦想：如果你能和光线一起跑，它看起来应是冻结的，像一个不运动的波。然而，以前没有人看到过冻结的光线，因此一定是有什么事情大错特错了。

在19世纪末20世纪初，物理学有两大支柱：牛顿力学与万有引力理论，以及麦克斯韦（Maxwell）的光的理论，万物都依赖这两个支柱。在19世纪60年代，苏格兰物理学家詹姆斯·克拉克·麦克斯韦（James Clerk Maxwell）证明光是由彼此不断改变的振动的电场和磁场构成的。使爱因斯坦震惊的是，他发现这两个支柱是互相矛盾的，二者之一必须否定。

在麦克斯韦（Maxwell）方程的框架范围内，爱因斯坦找到了困扰他10年的难题的解答。爱因斯坦发现了麦克斯韦（Maxwell）本人忽略的一些地方，麦克斯韦（Maxwell）方程指出，无论你试图以多快的速度追赶光线，光线都以固定的速度传播。光速c在所有惯性坐标框架（即匀速运动的框架）中都是相同的。不管你是站着不动、或是坐在火车上、或在飞速掠过的彗星上，你都会看到光线以同样的速度向你驶来。不管你跑得有多快，你绝不会超过光线的速度。

这立刻会产生一堆矛盾。你想象一下一个太空人追赶飞速行进的光线。太空人在他的火箭船中点火起飞，直到他与这束光线并肩前进。对于在地面上观看这个假想追赶的旁观者来说，他会说太空人和这束光线是肩并肩移动的。然而，太空人的说法则完全不同，他说这束光线飞速地离他而去，就好像他的火箭船静止不动一样。

爱因斯坦面临的问题是：同一件事，为什么两个人的说法完全不同呢？按照牛顿的理论，人们总有可能追上光线；而在爱因斯坦的世界

中，这是不可能的。他忽然认识到，在物理学最基础的地方有一个基本的缺陷。在1905年的春天，爱因斯坦回忆道："在我的大脑中刮起了一场暴风雪。"爱因斯坦在一闪念之间找到了答案：时间跳动的速率是不同的，取决于你运动得多快。事实上，你运动得越快，时间进展得越慢。时间不是像牛顿所想的那样是绝对的。根据牛顿，在整个宇宙中时间的节拍是均匀的，因此在地球上过了1秒，在木星和火星上也过了1秒，在整个宇宙中时钟的节拍是绝对同步的。然而，对爱因斯坦来说，在整个宇宙中时钟的节拍是不同的。

爱因斯坦认识到：如果时间的节拍可以依赖你的速度而改变[1]，那么其他量，如长度、质量和能量也会改变。运动得越快，距离收缩得越多（有时叫做洛伦兹-菲茨杰拉德〔Lorentz-Fitz Gerald〕收缩）。类似地，你运动得越快，你的重量变得越重。（事实上，当你接近光速时，时间将减慢到停止，距离收缩到零，你的质量变得无限大，看起来荒谬可笑。这就是为什么不能突破光障的原因，光速是宇宙中的速度极限。）

一位诗人是这样描述这个奇怪的空间时间扭曲的：

有一个叫菲斯克（Fisk）的年轻小伙子
他的剑术非常轻灵。
他舞剑的速度是如此之快，
由于菲茨杰拉德（FitzGerald）收缩
他细长的剑缩成了一个盘。

与牛顿的突破统一了地面上的物理学和天体物理学一样，爱因斯坦统一了空间和时间。他还指出物质和能量也是统一的，因此可以彼此转换。如果一个物体运动得越快，它变得越重，这意味着运动的能量转换成了物质。反过来也是对的，物质也可以转换成能量。爱因斯坦计算出物质能转换成多少能量，他得出的计算公式是$E = mc^2$，即一小点质量当它转换成能量时要乘一个巨大的数字c^2（光速的平方）。这样，照亮宇宙的恒星的能源之谜被揭示出来了，它是物质通过这个方程转换成能量的结果。恒星的秘密可以从以下简单的陈述中得出：在所有惯性框架内光速是相同的。

像他之前的牛顿一样，爱因斯坦改变了我们生活舞台的世界观。在牛顿的世界中，所有的演员都精确地知道现在是什么时间和距离怎样测量。时间的节拍和舞台的尺度绝不会改变。但是相对论给我们一种奇异的方式来理解空间和时间。在爱因斯坦的宇宙中，所有的演员都有自己的手表，显示的时间不同。这意味着不可能同步舞台上所有的表。规定在中午排练对不同的演员意味着不同的时间。运动越快，手表的节拍越慢，演员变得越重越胖。

经过了好多年，爱因斯坦的见识才被科学界的大部分人所承认。但是爱因斯坦没有停步，他想把他的新的相对论应用到引力上。爱因斯坦

认识到这会是多么困难，他将挑战他那个时代最成功的理论。量子理论的奠基人马克斯·普朗克（Max　Planck）提醒他：“作为一个老朋友，我必须再次劝告你，首先你不会成功，即便你成功了也没有人会相信你。”

爱因斯坦认识到：他的新的相对论违背了牛顿的引力理论。按照牛顿，引力在一瞬间传遍整个宇宙。但是这提出了一个甚至孩子有时也会问的问题：“如果太阳消失会发生什么？”对牛顿来说，整个宇宙会同时在瞬间看到太阳消失。但是根据狭义相对论，这是不可能的，因为恒星的消失是受光速限制的。根据相对论，太阳忽然消失应会发出球面引力冲击波，以光的速度向外传播。在冲击波的外面，观察者会说太阳还在发光，因为引力还来不及到达他们。但是在冲击波之内，观察者会说太阳消失了。为了解决这个问题，爱因斯坦引进了面貌全非的空间和时间描绘。



空间弯曲的力

牛顿把空间和时间看做一个巨大的、空空的舞台。在这个舞台上，一切事件按照他的运动定律发生。这个舞台充满奇迹和神秘，但基本上是惰性的和静止的，是一个被动的自然界活动的见证人。然而，爱因斯坦把这个想法掉了一个过儿。对爱因斯坦来说，舞台本身也成了生活的重要部分。在爱因斯坦的宇宙中，空间和时间不是牛顿所假定的静止的舞台，而是动态的，以奇怪的方式弯曲和曲线的。假定生活的舞台用一个蹦床来代替，演员在他的重量作用下会慢慢沉下去。在这样一个舞台上，我们看到舞台变得和演员一样重要。

想象一个放在床上的保龄球在床垫上慢慢沉下去。现在沿床垫的扭曲面弹一个弹子球。弹子球将沿着围绕保龄球的曲线路径行进。对牛顿学说来说，从远距离观察弹子球绕保龄球运动的人可能会得出结论：保龄球作用在弹子球上有一个神秘的“力”。信仰牛顿力学的人可以说：保龄球对弹子球施加了一个瞬间的“拉力”，迫使弹子球向心运动。

对相对论者来说，他可以从近距离观察床上弹子球的运动。显然根本没有力作用。只有床的弯曲迫使弹子球沿曲线运动。对相对论者来说，这里没有“拉力”，只有曲线床作用在弹子球上的“推力”。用地球代替弹子球，太阳代替保龄球，真空的空间时间代替床，我们看到地球绕太阳运动不是因为引力的拉力，而是因为太阳使地球周围的空间弯曲，产生推力迫使地球绕太阳运动。

这使爱因斯坦相信引力更像一块布，而不是在瞬间作用在整个宇宙中的看不见的力。如果人们快速抖动这块布，就会在它的表面上形成以有限速度传播的波。这就可以解决太阳消失的矛盾。如果引力是时空结构弯曲所产生的副产品，那么太阳的消失可以和从床上突然拿起保龄球相比。当床弹回到它原来的形状时，在床单上形成以有限速度传播的波。这样，通过将引力化简为空间和时间的弯曲，爱因斯坦将引力和相对论统一起来。

想象一个蚂蚁试图走过一张褶皱的纸片。当蚂蚁试图走过有褶皱的地形时，它将像一位喝醉酒的水手，左右摇晃。蚂蚁可能会抗议说，它没有喝醉，而是有一个神秘的力拽着它，一会儿把它拉向左边，一会儿又拉向右边。对蚂蚁来说，真空的空间充满了神秘的力，使它不能沿直线路径行走。然而，从近距离看蚂蚁，我们看到根本没有力在拉它，是褶皱纸片的褶皱在推它。作用在蚂蚁上的力是空间本身弯曲引起的幻觉。“拉力”实际上是它在纸片的褶皱上行走时产生的“推力”。换句话说，不是引力在拉，而是空间在推。

1915年，爱因斯坦最终完成他所谓的广义相对论，从此广义相对论成为所有宇宙论的基石。在这个令人吃惊的新的描述中，引力不是充满宇宙的独立的力，而是空间时间这块布弯曲的表观效果。他的理论是如此地强大，以至他可以把它凝集在大约1英寸（2.54厘米）长的方程式里。在这个灿烂的新理论中，空间和时间弯曲的量由它所包含的物质和能量的量决定。想象往一个池塘扔一块石头，产生一系列发源于冲击点的波纹。石头越大，池塘表面的弯曲越大。类似地，恒星越大，围绕恒星的空间时间的弯曲也越大。



宇宙学的诞生

爱因斯坦试图用这个图片作为一个整体来描述宇宙。他不知道他不得不面对几个世纪以前本特利（Bentley）提出的悖论。20世纪20年代大多数的天文学家认为宇宙是均匀的和静态的。因此，爱因斯坦的出发点是假定宇宙均匀地充满了尘埃和星星。用一个模型打比方，宇宙好比一个大气球或气泡。我们住在气泡的表皮上，我们所看到的围绕我们的恒星和星系可以比做涂在气球表面上的斑点。

使他奇怪的是，每当他试图解他的方程时，他发现宇宙变成动态的。爱因斯坦面对200多年前本特利（Bentley）提出的同一个问题。因为引力总是吸引的，不是排斥的，一个有限集合的星群将最终聚集到一起，形成大坍缩。然而，这与20世纪早年流行的宇宙是均匀的和静态的看法相矛盾。

作为像牛顿这样的革命者，他不能相信宇宙会在运动。像牛顿和很多其他人一样，爱因斯坦相信静态的宇宙。1917年，爱因斯坦在他的方程式中被迫引进一个新名词，“虚构系数”；在他的理论中引进一个将恒星推开的新的力，“反引力”。爱因斯坦把它叫做“宇宙常数”，一个似乎是补充爱因斯坦理论的丑小鸭。然后，爱因斯坦专横地用这个反引力恰好抵消引力的吸引，产生一个静态的宇宙。换句话说，由于引力所产生的宇宙向内收缩和暗能量产生的向外的力相互抵消，宇宙成为静态的。（在70年间，这个“反引力”被认为有些像一个孤儿而没有人认领，直到最近几年有了新的发现情况才有所改变。）

1917年，荷兰物理学家威廉·德西特尔（Willem de Sitter）给出爱因斯坦理论的另一个解。在他的解中，宇宙是无限的，但是完全没有物质。事实上宇宙仅由真空中所包含的能量，即宇宙常数构成。这个纯粹的反引力足以驱动宇宙快速地、以指数规律膨胀。即便没有物质，这个暗能量也能创造一个膨胀的宇宙。

物理学家现在面临进退两难的局面。爱因斯坦的宇宙有物质，但没有运动。德西特尔（de Sitter）的宇宙有运动，但没有物质。在爱因斯坦的宇宙中，宇宙常数是必不可少的，它抵消引力的吸引创造一个静态的宇宙。在德西特尔（de Sitter）的宇宙中，只要有宇宙常数就足以创造一个膨胀的宇宙。

最后，在1919年，那时欧洲正试图从第一次世界大战的废墟中走出来，有两队天文学家被派到世界各地检测爱因斯坦的新理论。爱因斯坦早就提出太阳所产生的空间时间弯曲足以使通过它附近的星光弯曲。星

光应该以精确的可计算的方式围绕太阳弯曲，就像玻璃片使光线弯曲一样。但是因为太阳光线的亮度遮盖了白天的任何恒星，科学家不得不等待日食进行精确的测量。

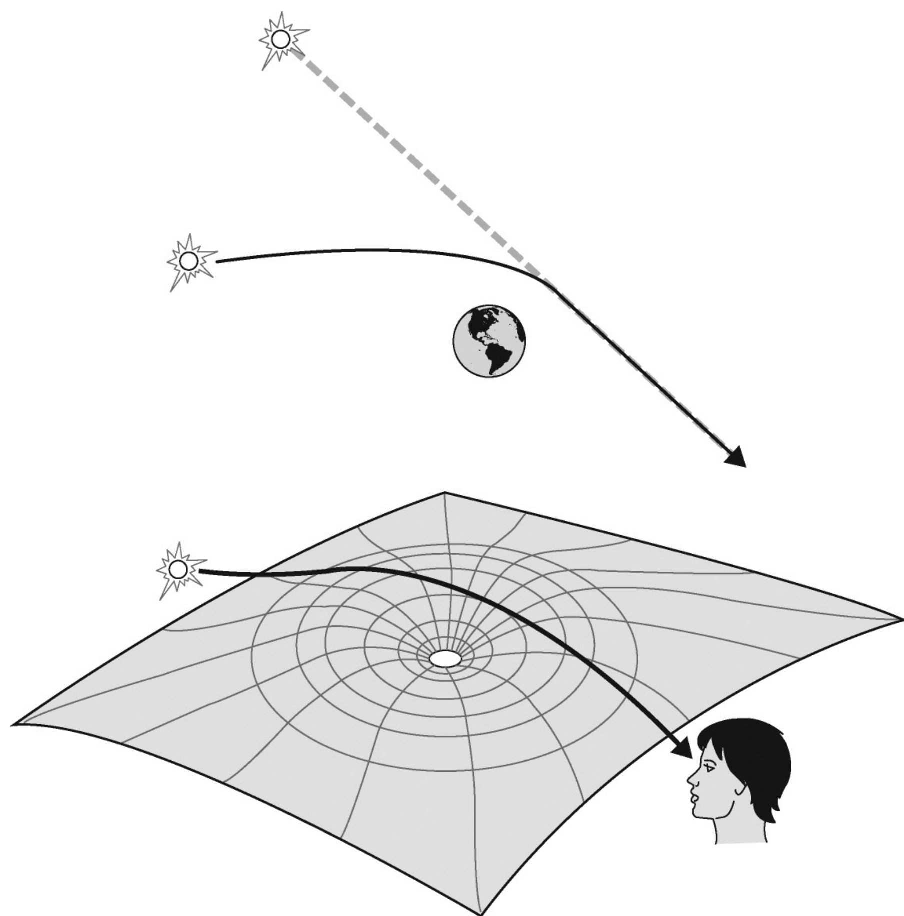


图3　在1919年，两队测试组证实爱因斯坦预计从遥远恒星来的光线通过太阳附近时会弯曲。这样，在太阳出现的时候，恒星的位置看起来要偏离它的正常位置。这是因为太阳约束了它周围的空间时间。因此不是引力在“拉”，而是空间在“推”。

英国天体物理学家亚瑟·爱丁顿（Arthur　Eddington）带领的一队航行到西非海岸几内亚湾的普林西比岛，记录在下一个日食期间星光绕太阳的弯曲。安德鲁·克罗姆林（Andrew　Crommelin）带领的另一队航行到巴西北部的索布拉尔（Sobral）。他们得到的数据说明星光的平均偏离为1.79弧秒（1″≈〔1/3600〕°），证实了爱因斯坦预计的1.74弧秒（在误差范围内）。换句话说，光线确实在太阳附近弯曲了。爱丁顿后来声称验证爱因斯坦的理论是他一生中最伟大的时刻。

1919年11月6日，在伦敦召开了皇家学会和皇家天文学会的联合会议。皇家学会主席和诺贝尔奖获得者J．J．汤姆孙（J．J．Thompson）庄严地宣告：“这是人类思想史中最伟大的成就之一。它不

是发现了一个孤岛，而是发现了整个新科学思想的大陆。它是自牛顿阐明他的原理以来与万有引力相关的最伟大的发现。”

（根据传说，后来一位记者问爱丁顿：“有谣传说整个世界只有三个人懂得爱因斯坦的理论。你必定是其中之一。”爱丁顿默默站着没有说话。于是这位记者说：“别谦虚了，爱丁顿先生。”爱丁顿耸耸肩膀说：“根本不是。我是在想谁可能是第三个人。”）

第二天，伦敦《泰晤士报》以显眼的大字标题登载道：“科学革命——宇宙新理论——牛顿的理论被推翻”。这个标题标志着一个重要时刻，它标志着爱因斯坦成为世界知名的人物，成为一位从恒星来的使者。

此宣告是如此之伟大，爱因斯坦背离牛顿是如此之激进，于是引起了对抗性的反应，一些杰出的物理学家和天文学家公开指责这个理论。在哥伦比亚大学，查理·莱恩·普尔（Charles Lane Poor），一位天体力学教授领导了对相对论的批评，他说：“我感到我好像在和爱丽丝（Alice）一起梦游仙境，又好像在和‘疯帽子’（Mad Hatter）一起喝茶。”

为什么相对论违背我们的常识，这不是因为相对论是错的，而是因为我们的常识不代表真实。我们是宇宙的怪儿。我们居住在宇宙中的一个不寻常的庄园里，在这里的温度、密度和速度都很适中。然而，在“真实的宇宙”里，在恒星的中心的温度可能是极其酷热，在外层空间又可以冷得使人麻木，亚原子粒子以接近于光速有规律地穿过太空。换句话说，我们的常识是在宇宙非常不寻常的地球的环境中孕育出来的，因此我们的常识不能领会真正的宇宙是不奇怪的。问题不在于相对论，而在于我们以为我们的常识代表真实。



宇宙的未来

尽管爱因斯坦的理论成功地解释了天文现象，如星光绕过太阳的弯曲和水星轨道的轻微晃动，但它的宇宙学预测仍然是模糊不清的。俄罗斯的物理学家亚历山大·弗里德曼（Aleksandr Friendmann）很好地澄清了问题，他发现了爱因斯坦方程的最全面和最真实的解。一直到今天，在广义相对论的每一个研究生教程都还在讲解这些内容。（弗里德曼是在1922年发现这些解的，但他死于1925年，所以他的工作大部分被遗忘了，多年后才又被发现。）

通常，爱因斯坦理论包括一系列极其困难的方程，要用计算机才能解。然而，弗里德曼假定宇宙是动态的，并作了两个被称为宇宙学原则的简化假定：宇宙是各向同性的（即从给定点无论向哪个方向看都是相同的），和宇宙是均匀的（即在宇宙中无论你走到哪儿都是均匀的）。

在这两个简化假定之下，这些方程被解出来了。（事实上，爱因斯坦和德西特尔的解都是弗里德曼通解的特解。）最显著的是弗里德曼的解只取决于三个参数：

1. H，决定宇宙膨胀的速率。（今天，这个参数叫做哈勃常数〔Hubble's constant〕，以实际测量宇宙膨胀的天文学家哈勃命名。）
2. Ω（欧米伽值，Omega），宇宙物质的平均密度。
3. Λ（拉姆达值，Lambda），与真空的空间有关的能量或暗能量。

很多宇宙学家花费毕生精力试图确定这三个参数的精确数值。这三个常数之间的微妙关系确定了整个宇宙将来的演化。例如，因为引力吸引，宇宙密度欧米伽值（Ω）起到刹车的作用以减慢宇宙膨胀，逆转大爆炸膨胀速率的某些影响。想象将一块石块扔向天空。通常，引力很强，足以逆转石块的运动方向，使它跌回到地面。然而，如果将石块扔出的速度特别快，它就能逃出地球的引力，永远遨游到外层空间。像这块石块一样，宇宙最初因为大爆炸而膨胀，但是物质，或欧米伽值，其作用类似刹车，减慢宇宙的膨胀，就好像地球引力对石块的刹车作用一样。

我们暂且假定与真空的空间有关的能量拉姆达值（Λ）等于零。让宇宙密度欧米伽值被宇宙临界密度除。（宇宙的临界密度大约为每立方米10个氢原子，相当于平均在3个篮球大的体积里发现1个氢原子，可想宇宙有多么真空。）

如果欧米伽值（Ω）小于1，科学家得出结论：宇宙中没有足够的物质逆转大爆炸产生的原始膨胀。（好比将石块扔到空中，如果地球的质量不够大，石块将最终离开地球。）结果宇宙将永远膨胀，陷入大冻结状态，直到温度接近绝对零度。（这个原理和电冰箱或空调制冷一样，当气体膨胀时变冷。比如，在你的空调中，在管中循环的气体膨胀将使管和房间冷却。）[2]

如果欧米伽值大于1，宇宙物质充分，宇宙引力最终将逆转宇宙膨胀。结果，宇宙膨胀将停止，然后收缩。（好比扔向天空的石块，如果地球的质量太大，石块将最终达到一个最大高度，然后跌落到地面。）当恒星和星系跑到一起时温度开始上升。（给自行车胎打过气的人都知道气体压缩产生热。压缩空气所做的机械功转化成热能。同样，宇宙压缩将引力能转化成热能。）最终，温度将变得如此之高，一切生命都将灭绝，因为宇宙陷入了一片火海。（天文学家肯·克罗斯韦尔〔Ken Croswell〕把这个过程说成是“从创世到火葬”。）

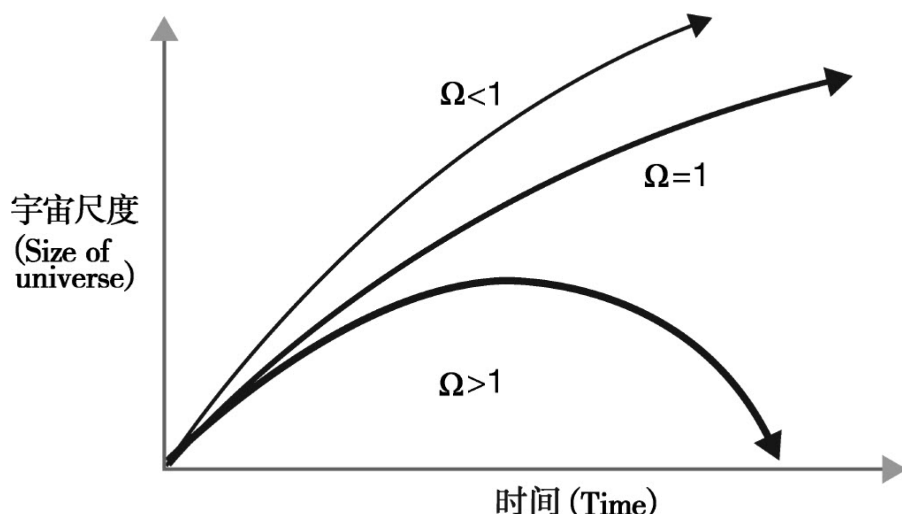


图4　宇宙的演变有三种可能的历史。如果欧米伽值小于1（和拉姆达值是0），宇宙将永远膨胀，形成大冻结。如果欧米伽值大于1，宇宙将收缩，形成一片火海。如果欧米伽值等于1，宇宙将永远膨胀。（WMAP卫星数据显示欧米伽值＋拉姆达值等于1，这意味着宇宙是平的。这和膨胀理论是一致的）。

第三种可能是欧米伽值精确地停留在1。换句话说，宇宙密度等于临界密度。在这种情况下，宇宙盘旋在两个极端之间，但仍将永远膨胀。（我们将看到，膨胀的图片支持这种情景。）

最后，有这种可能，宇宙在变成一片火海之后又重新出现新的大爆炸。这个理论叫做振荡宇宙理论。

弗里德曼指出每一种情景又确定了空间时间的曲率。如果欧米伽值小于1，宇宙将永远膨胀。他指出宇宙不仅时间是无限的，空间也是无限的。宇宙被说成是“开放”的，即空间和时间都是无限的。当他计算这

个宇宙的曲率时他发现是负的。（好像一个马鞍或喇叭的表面。如果一个小虫停留在这个表面上，它会发现平行线决不相交，三角形内角和小于180度。）见图5。

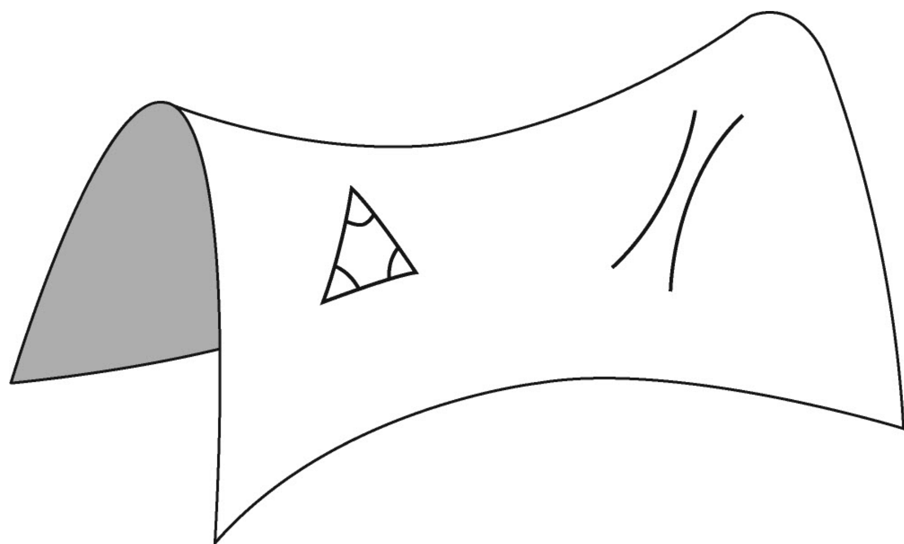


图5　如果欧米伽值小于1（和拉姆达值是0），宇宙是开放的，曲率为负，像一个马鞍面；平行线决不相交，三角形内角和小于180度。

如果欧米伽值大于1，宇宙将最终收缩形成一片火海。时间和空间是有限的。弗里德曼发现这个宇宙的曲率是正的，像一个球面。最后，如果欧米伽值等于1，则空间是平的，时间和空间是无界的。见图6。

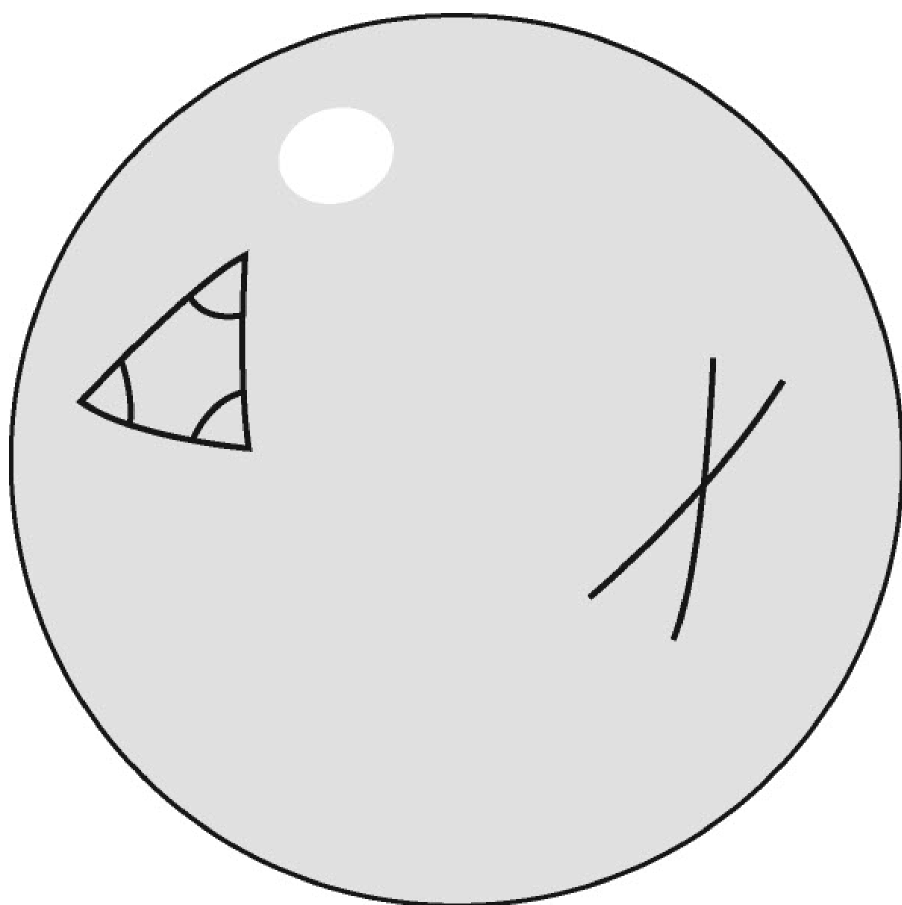


图6　如果欧米伽值大于1，宇宙将封闭，曲率为正，像一个球面；平行线总会相交，三角形内角和大于180度。

弗里德曼不仅提供了了解爱因斯坦宇宙方程的第一个综合处理的方法，他还给出有关世界末日，即宇宙最终命运的最现实的推测。宇宙要么死于大冻结，要么在一片火海中火葬，要么永远振荡。答案取决于关键参数：宇宙的密度和真空的能量。

但是弗里德曼的描述留下了缺陷。如果宇宙是膨胀的，这意味着它曾经有开始。爱因斯坦的理论没有涉及这个开始的时刻。大爆炸创世开始的那个时刻被忽略了。后来有三位科学家最终给了我们有关大爆炸的最引人注目的描述。

第3章　大爆炸

宇宙不仅比我们猜想的要奇怪，它比我们能够猜想的还要奇怪得多。

——J．B．S．藿尔丹（J．B．S．Haldane）

人类在创世故事中所要寻找的是展现在我们面前的超然的宇宙是怎么产生的，在宇宙间我们自己又是怎样形成的。这就是我们想知道的。这就是我们所要寻求的。

——约瑟夫·坎贝尔（Joseph Campbell）

1995年3月6日《时代》周刊的封面刊登了大螺旋星系M100的照片，并声称：“宇宙学处在混沌中。”宇宙学陷入了泥潭，因为从哈勃空间望远镜得到的最新数据似乎说明：宇宙比它最老的恒星还要年轻，在科学上这是不可能的。数据表明宇宙的年龄在80亿到120亿年之间，而有人相信最老的恒星的年龄为140亿年。亚利桑那大学的克里斯托弗·英庇（Christopher Impey）嘲弄地说：“你不可能比你妈妈还老。”

但是一旦你看过这张精美的照片后，你就会认识到大爆炸的理论是完全有根据的。反驳大爆炸的证据只是根据对单个星系M100的观测，由此就得出结论在科学上是不可靠的。正如文章所承认的，问题是“驱动恒星飞船进取号通过的瞭望孔太大了”，根据哈勃空间望远镜的粗略数据所计算的宇宙年龄的精度不会超过10%～20%。

我的看法是，大爆炸理论不是根据思索，而是根据几百个从不同来源得出的数据，这些数据会聚到一起，全都支持这个单一的、自圆其说的理论。（在科学上，不是所有产生的理论都是同等的。尽管任何人都可以不受限制地提出他自己的有关宇宙起源的观点，但是要求它能够解释我们收集的与大爆炸理论一致的几百个数据。）

大爆炸理论的三个重要“证据”是根据三位传奇科学家的工作得出的，他们在各自的领域里都是领军人物，他们是：埃德温·哈勃、乔治·伽莫夫和弗雷德·霍伊尔。



埃德温·哈勃，贵族天文学家

当爱因斯坦奠定宇宙学的理论基础时，现代观测宇宙学几乎是由现代天文学最伟大的人物一手创造的，他是埃德温·哈勃，20世纪最重要的天文学家。

哈勃1889年生于密苏里州马什菲尔德（Marshfield）偏僻的森林地带。他是一个谦虚的有着远大志向的乡村小男孩。他的父亲是一位律师和保险代理人，要他学法律。然而，哈勃被儒勒·凡尔纳的书迷住了，被星星迷惑了。他狼吞虎咽地阅读科幻经典，如《海底两万里》（*Twenty Thousand Leagues Under the Sea*）和《从地球到月球》（*From the Earth to the Moon*）。他也是一名熟练的拳击手，他的教练要他成为职业拳击手挑战世界重量级拳王杰克·约翰逊（Jack Johnson）。

他获得声望很高的罗德（Rhode）奖学金到牛津大学学法律。在这里他学会了英国上流社会的生活方式。（他的举止开始像一位牛津先生，穿斜纹软呢服、抽烟斗、说话时带很重的英国口音、谈论他的因决斗留下的伤疤，据谣传这个伤疤是他自己造成的。）

然而，哈勃是不愉快的。真正吸引他的不是民事侵权行为和诉讼，抓住他的想象的是从童年就开始的对星星的着迷。他勇敢地转换了学历，前往芝加哥和威尔逊山天文台，它有当时世界上最大的望远镜，镜面直径100英寸（2.54米）。由于他开始学习天文学太晚，他不得不抓紧努力。为了弥补失去的时间，哈勃迅速地从回答天文学中最深远的、一直没有解答的问题开始。

20世纪20年代，大学是一个舒适的地方。人们都认为整个宇宙仅由银河系构成，它的细长的模糊的光像泼出的牛奶划过夜晚的天空。（事实上，银河〔galaxy〕这个词就是从希腊语“牛奶”来的。）1920年在哈佛大学天文学家哈洛·沙普莱（Harlow Shapley）和利克（Lick）天文台的希伯·柯蒂斯（Heber Curtis）之间爆发了一场著名的“大争论”，题目是“宇宙的尺度”，涉及银河系的大小和宇宙自身问题。沙普利（Shapley）认为银河系构成整个可见宇宙。柯蒂斯（Curtis）认为在银河系之外有“螺旋星系”，看上去虽然奇怪，但是确实有一片美丽的成卷的螺旋薄雾。（早在18世纪，哲学家伊曼纽尔·康德〔Immanuel Kant〕就推测这些螺旋薄雾是“宇宙岛”。）

这个争论引起哈勃的极大兴趣。关键问题是：确定到恒星的距离是天文学众多任务中最困难的一个（目前仍然是）。一颗很亮但距离很远的星看起来和一颗很暗但距离很近的星一样亮。这个混乱是天文学中许

多争执和辩论之源。哈勃需要一根“标准的烛光”，一个在宇宙任何地方都发出同样光量的客体来解决这个问题。（实际上，一直到今天，宇宙学家的大部分努力在于试图找到和标定这样一个标准的烛光。许多伟大的辩论围绕着在天文中心这些标准烛光有多么可靠。）如果人们有了在宇宙各处以同样强度的均匀燃烧的标准蜡烛，那么一颗恒星离开地球的距离为原来的2倍，它的亮度就会只有原来的1/4。

一天晚上，哈勃分析螺旋星系仙女座（Andromeda）的照片，他忽然发现自己“找到了答案”。他在仙女座（Andromeda）星系中发现一颗变星，叫做造父变星（Cepheid），亨丽埃塔·莱维特（Henrietta Levitt）曾对它进行了仔细的分类。已经知道，这颗星随着时间规则地变亮和变暗，一个完整周期的时间与它的亮度有关。恒星越亮，脉动的周期越长。因此只要测量周期的长度，就可以标定它的亮度，从而确定它的距离。哈勃发现它的周期是31.4天，使他惊奇的是，转换成距离后为100万光年，远远超出银河系之外。（银河系的范围只有10万光年。后来的计算表明哈勃实际低估了到仙女座〔Andromeda〕的距离，实际距离接近200万光年之遥。）

当他对其他螺旋星系进行类似观测时，他发现它们也远远超出银河系范围。换句话说，对他来说这些螺旋星系是一个完全有自身头衔的宇宙岛。银河系只是太空星系中的一个星系。

宇宙的尺度一下子变得非常之大。宇宙突然从一个单一的星系，成为住有几百万个星系，或许几十亿姐妹星系的地方。宇宙从只有10万光年之遥，突然拥抱了几百万个星系，范围有几十亿光年之遥。

这一个发现就足以保证哈勃在天文学的殿堂上占有一席之地。但是哈勃超越了这一发现。哈勃不仅决心发现到星系的距离，他还想计算这些星系移动的速度。



多普勒效应和膨胀的宇宙

哈勃知道计算远处物体速度的最简单方法是分析它们发出的声音或光线的变化，或者叫做多普勒效应（Doppler effect）。汽车在高速公路上行驶时发出声音。警察利用多普勒效应计算汽车的速度。警察将一束激光打在汽车上，激光束返回到警察的汽车上。分析激光频率的移动就可以计算这辆汽车的速度。

例如，一颗恒星向你靠近，它发出的光波将像手风琴一样压缩。结果它的波长变短。一颗黄色的星看上去有些发蓝（因为蓝光比黄光波长短）。同样，如果一颗恒星离你而去，它的光波将伸展，波长变长，黄色的星看上去有些发红。恒星的速度越快，变化就越大。因此，如果知道星光频率的移动，就能确定它的速度。

1912年，天文学家维斯托·斯里弗（Vesto Slipher）发现这些星系以极大的速度离地球而去。不仅宇宙比原来想的要大得多，而且还以极大的速度在膨胀。除去一些小的波动，他发现这些星系呈现红色频移，而不是蓝色频移，这是由星系离我们而去引起的。斯里弗的发现说明宇宙的确是动态的，不是像牛顿和爱因斯坦假定的静态的。

在所有的世纪以来，科学家研究了本特利（Bentley）和奥尔贝斯（Olbers）的悖论，但没有一个人认真考虑过宇宙膨胀的可能性。1928年，哈勃作了一次重要的旅行，去荷兰会见威廉·德西特尔（Willem de Sitter）。吸引哈勃的是，德西特尔（de Sitter）预计恒星离得越远，它应当移动得越快。想象一个膨胀的气球在它的表面标上星系。当气球膨胀时，彼此靠近的星系将缓慢地分开。但是在气球上离得较远的星系分开得更快。

德西特尔（de Sitter）催促哈勃在他的数据中寻找这个效应，这个效应可以通过分析星系的红色频移来证实。星系的红移越大，它离开得越快，因此离得也越远。（根据爱因斯坦的理论，星系的红移从技术上讲不是由星系飞速地离开地球而去引起的，而是由星系与地球之间的空间膨胀引起的。红色频移的起因是：从遥远星系发出的光被空间的膨胀伸展或加长了，因此看上去变红。）



哈勃定律

哈勃回到加利福尼亚后，他听从德西特尔（de　Sitter）的建议开始寻找这个效应的证据。他分析了24个星系，发现星系越远，它离开地球的速度越快，正如爱因斯坦方程预计的那样。距离除以速度之比大约为一个常数。这个常数很快被叫做哈勃常数，或H。这个常数大概是宇宙学中最重要的常数，因为哈勃常数（Hubble's　constant）告诉我们宇宙膨胀的速率。

科学家在想，如果宇宙在膨胀，那么也许它也有一个开始。事实上，哈勃常数的倒数给出宇宙年龄的粗略估计。想象一个记录爆炸的录像带。在录像带中我们看到爆炸现场留下的残骸，并能计算爆炸的速度。但是这也意味着我们可以倒退磁带，直到所有残骸集中到一个点。因为我们知道爆炸的速度，我们可以反过来工作，计算爆炸发生的时间。

（哈勃的原始估计将宇宙的年龄确定为大约18亿年，这使几代宇宙学家感到头疼，因为它比公认的地球和恒星的年龄年轻。多年后，天文学家认识到是测量从仙女座〔Andromeda〕的造父变星〔Cepheid〕来的光线时的误差，造成哈勃常数计算不正确。事实上，在过去70年间，有关哈勃常数精确值的“哈勃之战”一直在进行。最权威的数字今天从WMAP卫星得出。）

1931年，爱因斯坦扬扬得意地访问了威尔逊山天文台，第一次会见了哈勃。爱因斯坦认识到宇宙的确在膨胀，他将宇宙常数称为他的“最大的错误”。（然而，正如我们在后面章节讨论WMAP卫星数据时将看到的，即使是爱因斯坦的一个小错也足以动摇宇宙学的基础。）当爱因斯坦的夫人在巨大的天文台周围炫耀自己时，有人告诉她，这个巨大的望远镜正在确定宇宙的最终形状，爱因斯坦夫人不屑一顾地说：“我丈夫在一个旧信封的背面已经确定了宇宙的形状。”



大爆炸

一位名叫乔治·勒迈特（Georges Lemaître）的比利时牧师学习了爱因斯坦的理论后，被爱因斯坦理论逻辑上会导致宇宙膨胀，因此宇宙有一个开始的想法迷住了。因为气体压缩时会变热，他认识到宇宙在开始时一定是非常的热。在1927年，他说：宇宙一定是起始于一个温度和密度都不可想象的“超原子”，它突然向外爆炸产生了哈勃的膨胀宇宙。他写道：“世界的演化可以与刚刚放完的烟火相比：留下少许红丝、灰尘和烟雾。我们站在已冷却的灰烬上看着太阳在慢慢衰退，我们设法回想已消失的原始世界的光辉。”

（第一个提出在创世之初“超原子”想法的人也是埃德加·爱伦·坡〔Edgar Allen Poe〕。他说因为一种物质吸引其他形式的物质，所以在创世之初一定有宇宙原子浓缩发生。）

也许勒迈特（Lemaître）愿意参加物理学会议，纠缠其他科学家要他们接受他的想法。也许这些科学家会心情愉快地听他讲话，但随后将默默地从心中摒弃他的想法。亚瑟·爱丁顿（Arthur Eddington）是他那个时代最重要的物理学家，他说：“我作为一位科学家，我完全不能相信目前万物的秩序是从大爆炸开始的……大自然目前的状况和秩序是突然开始的想法是我不能接受的。”

但是，多年之后，他（勒迈特）坚持不懈地克服了物理学里的阻力。一位科学家要想成为大爆炸理论的最重要的代言人和推广者，就必须最终提供该理论的最令人信服的证据。



乔治·伽莫夫，宇宙小丑

尽管哈勃是一位天文学的老于世故的大科学家，然而还有另一位传奇式人物乔治·伽莫夫（George Gamow）继续了他的工作。伽莫夫在很多方面与哈勃相反：一个爱讲笑话的人、一位漫画家、以恶作剧著称和20本有关科学图书的作者，很多书是为年轻的成年人写的。他的有趣的、见识广博的、有关物理和宇宙的书孕育了几代科学家（包括我在内）。在相对论和量子论使科学和社会发生变革时，他的书独树一帜：这些书是十几岁的孩子能够得到的可靠的有关尖端科学的书。

虽然缺乏思想，只满足于处理成堆数据的科学家为数不多，但伽莫夫则是他那个时代创造性的天才，一位博学多才能迅速迸发出思想的火花，能改变核物理学、宇宙学，甚至DNA研究进程的人。

詹姆斯·沃森（James Watson）的自传的书名叫做《基因、伽莫夫和女孩》（*Genes*，*Gamow*，*and Girls*）大概不是偶然的。沃森（Watson）和弗朗西斯·克里克（Francis Crick）一起揭示了DNA分子的秘密。正如他的同事爱德华·特勒（Edward Teller）回忆的："伽莫夫的理论百分之九十是错的，他也容易承认它们是错的。但他并不在意。他是那些不为自己的任何发明而感到特别骄傲的人之一。他会抛出他的最新思想，然后把它当成一个笑话。"但是他剩下的百分之十的思想则会改变整个科学的面貌。

伽莫夫1904年生于俄罗斯的敖德萨（Odessa），那时俄罗斯处在早期的社会剧变中。他回忆道："当敖德萨（Odessa）被某个敌人军舰轰炸时，当希腊、法国或英国远征军插上刺刀沿着城市主要街道进攻传统的白色、红色甚或绿色俄罗斯军队时，或当不同颜色的俄罗斯军队互相残杀的时候，学校常常停课。"

有一次他去教堂，做完礼拜后偷偷拿回家一些教堂的面包。他在显微镜下观看，他看不到代表耶稣基督肉体的教堂面包和普通面包有什么区别。他说："我想，是这个实验使我后来成为科学家。"这一次去教堂成了他早期生活的转折点。

他就读于列宁格勒大学，在物理学家亚历山大·弗里德曼指导下学习。后来，在哥本哈根大学他遇见了很多物理学的巨人，如尼尔斯·玻尔。（1932年，伽莫夫和他的妻子试图乘从克里米亚到土耳其的木筏逃离苏联，但没有成功。后来，他在布鲁塞尔参加物理学会议，成功地逃离，这为他挣得了苏联的死刑判决。）

伽莫夫以给他的朋友发出五行打油诗著称。大多数是不刊印的，但是有一篇五行打油诗抓住了宇宙学家在面对巨大的天文数字和无限的星星时所感到的忧虑：

有一位从特里尼蒂（Trinity）来的年轻小伙子
他取无穷大的平方根
但位数之大
使他害怕；
他丢下数学去从事神学。

20世纪20年代，他在俄罗斯解决了为什么可能发生放射性衰变的秘密，从而首次获得巨大成功。由于居里夫人和其他人的工作，科学家知道了铀原子是不稳定的，以阿尔法射线（氦原子的核子）的形式发出辐射。但是根据牛顿力学，将核子聚在一起的神秘的核力应该是阻止这种泄露的障碍。那是怎么发生的呢？

伽莫夫，还有R．W．格尼（R．W．Gurney）和E．U．康登（E．U．Condon）认识到放射性衰变是可能的，因为量子理论的测不准原理意味着绝不能精确地知道一个粒子的精确位置和速度，因此有微小的可能性，这些粒子会穿过“隧道”或穿透障碍。（今天，这个隧穿思想是所有物理学的中心，用来解释电子设备、黑洞和大爆炸本身的性质，宇宙本身也许是通过隧穿产生的。）

通过类比，伽莫夫想象一个囚犯被囚禁在巨大的监狱墙壁的包围之中。按常理，在经典的牛顿世界里逃跑是没有可能的。但是在量子理论的奇异世界里，你不能精确地知道他的位置和速度。如果囚犯不停地撞墙，你可以计算出有一天他会穿过墙壁，直接违背了常识和牛顿力学。计算得出囚犯有跑到监狱墙壁之外的一个有限的可能性，你有可能在监狱大门之外发现他。对于囚犯这样的大物体，你等待的时间比宇宙的寿命还要长，奇迹才能发生。但是对于阿尔法粒子和亚原子粒子，这种情况就会经常发生，因为这些粒子以巨大的能量反复地冲击核子的墙壁。很多人感到：应该给这个极其重要的工作颁发诺贝尔奖。

20世纪40年代，伽莫夫的兴趣从相对论转向宇宙学，他把它看成是富有的未被发现的国度。在那个时候，人们所知道的有关宇宙的一切是：天空是黑的，宇宙在膨胀。伽莫夫被一个单一的想法所指引：找到任何证据或“化石”证明几十亿年前发生了大爆炸。这是一个非常棘手的问题，因为宇宙学在真正的意义上不是一门“实验科学”。人们不可能对大爆炸进行任何实验。宇宙学更像一个侦探故事，一门观察科学，你在犯罪现场寻找“蛛丝马迹”或证据，而不是一门能够进行精确试验的实验科学。



宇宙的核厨房

伽莫夫对科学的第二个伟大贡献，是他发现了我们在宇宙中看到的产生最轻元素的核反应。他喜欢把它叫做“史前的宇宙厨房”，原来宇宙的所有元素都是在大爆炸的高温下烹饪出来的。今天，这个过程叫做“核合成”，即计算宇宙中元素的相对富裕程度。他的想法是：有一个完整的链，从氢原子开始，然后只要不断向氢原子加入更多的粒子，就能产生链中的其他元素。他相信：整个门捷列夫周期表中的化学元素都能从大爆炸的高温中创造出来。

伽莫夫和他的学生分析，在创世之初，宇宙是一个非常高温的中子和质子的集合，然后大概熔合发生了，氢原子熔合在一起形成氦原子。正如一枚氢弹或一颗恒星，温度是如此之高，结果氢原子的质子互相碰撞直至熔合，产生氦核。然后氢与氦发生碰撞，按照同样的过程产生下一组元素，包括锂和铍。伽莫夫认为，将更多更多的亚原子粒子加入到核中可以产生更重的元素。换句话说，所有构成可见宇宙的100多种元素都可以在原始火球的高温中“烹调”出来。

按照通常的方式，伽莫夫制订这个雄心勃勃的计划的总体框架，让他的博士生拉尔夫·阿尔弗（Ralph Alpher）补充细节。当这篇文章完成时，他禁不住开了一个玩笑。他未经物理学家汉斯·贝蒂（Hans Bethe）的许可，就把他（贝蒂）的名字写上，于是这篇文章就成了著名的“阿尔法-贝塔-伽马”论文（alpha-beta-gamma paper）。

伽莫夫发现的是，大爆炸的温度的确很高，足以产生氦，它构成宇宙质量的25%，数量巨大。反过来工作，我们看到今天很多的恒星和星系是由大约75%的氢、25%的氦和少量的微量元素构成的，这可以作为大爆炸的一个“证据”。（按照普林斯顿大学的天体物理学家大卫·施佩格尔〔David Spergel〕的说法：“每当你买一个气球，你就得到大爆炸头几分钟产生的其中一些原子。”）

然而，伽莫夫通过计算也发现了问题。他的理论对非常轻的元素工作很好。但是，有5个和8个质子和中子的元素极不稳定，因此不能作为“桥梁”产生有更多中子和质子的元素。因为我们的宇宙是由重元素构成的，它们的中子和质子数比5和8要多得多，这就成了一个宇宙之谜。伽莫夫不能将他的理论扩大到超出5个粒子和8个粒子的范围成了一个多年来的棘手的问题，这就注定了他的宇宙中的所有元素都是在大爆炸时产生的说法不能成立。



微波背景辐射

在同一时间，另外一个想法吸引了他。如果大爆炸的温度是难以置信的高，也许今天它辐射的热仍在宇宙中回旋。如果是这样，它就给出大爆炸本身的“化石记录”。也许大爆炸是如此之巨大，以至它的余震仍然以均匀的辐射状雾霾充满宇宙。

伽莫夫在1946年提出一个假定：大爆炸有一个超热的中子核。这是一个合理的假定，因为除了电子、质子和中子以外，关于亚原子粒子我们知道的很少。如果他能估计这个中子球的温度，他就能计算它发出的辐射的量和性质。两年后，伽莫夫指出这个超热核心发出的辐射的作用好像“黑体辐射”（black body radiation）。这是由高温物体发出的非常特殊类型的辐射。它吸收所有碰到它的光，以特有的方式发出辐射。例如，太阳、熔岩、火中的热煤、烤炉中的热陶瓷，都发出黄红的辉光和发射黑体辐射。（黑体辐射是1792年由著名的陶瓷制造家托马斯·韦奇伍德〔Thomas Wedgwood〕首先发现的。他注意到炉中烘焙的原材料，当温度升高时颜色从红变成黄，再变成白。）

这是非常重要的，因为一旦知道了热体的颜色，就可以大约知道它的温度，反过来也一样。马克斯·普朗克（Max Planck）在1900年首次得出联系热体温度和它发出的辐射之间的精确公式，这导致了量子理论的诞生。（事实上，这是科学家确定太阳温度的方法。太阳主要辐射黄色光，相应于大约6000K的黑体温度。这样我们就知道了太阳外层大气的温度。类似地，猎户星座中的一等星红巨星参宿四〔Betelgeuse〕的表面温度为3000K，此黑体温度相当于红色，一块烧红的煤也发出这种颜色的光。）

伽莫夫在1948年发表的文章首次提出大爆炸的辐射也许有特殊的特性，即黑体辐射。黑体辐射最重要的特点是它的温度。下一步，伽莫夫必须计算这一黑体辐射的当前温度。

伽莫夫的博士生拉尔夫·阿尔弗（Ralph Alpher）和另一名学生罗伯特·赫尔曼（Robert Herman）试图完成伽莫夫的温度计算工作。伽莫夫写道：“从宇宙早期推算到现在，我们发现在过去的无数年代中，宇宙已经冷却到了大约绝对零度以上5度（K）。”

1948年，阿尔弗（Alpher）和赫尔曼（Herman）发表了一篇文章，给出大爆炸余晖今天的温度在绝对零度以上5度的详细讨论（他们的估计显著地接近现在所知道的正确温度，绝对零度以上2.7度）。他们确定这种辐射在微波范围内，它今天应当仍然在环绕宇宙回旋，以均匀

的余晖充满宇宙。

（分析如下：在大爆炸以后的年代里，宇宙的温度是如此之高，每当一个原子形成时，它就会被强大的、随机的与其他亚原子粒子的碰撞撕开，因此有许多自由电子散身光。这样，宇宙是不透明的，混浊的。在这个超热宇宙中传播的光线在跑过一段短距离后就被吸收。因此宇宙看上去是一片云雾。然而，在380000年之后，温度降到3000度〔K〕。低于这个温度，原子不再被碰撞撕开。结果稳定的原子可以形成，光线可以传播若干光年而不被吸收。这样，真空的空间第一次开始变得透明了。这个辐射不再在它产生以后就被吸收，而是今天仍在环绕宇宙回旋。）

当阿尔弗（Alpher）和赫尔曼（Herman）向伽莫夫说明他们最终计算出的宇宙的温度时，伽莫夫失望了。这个温度太低了，测量这个温度将会极其困难。经过一年的时间，伽莫夫才最终同意他们计算的细节是正确的。但是他对能够测量这样微弱的辐射场感到绝望。回到20世纪40年代，没有可用的仪器测量这样微弱的回响。（在后来的计算中，伽莫夫利用不正确的假定将辐射的温度提高到50度〔K〕。）

他们举办一系列讲座宣传他们的工作。但不幸的是，他们的预言结果被忽略了。阿尔弗（Alpher）说："我们花费了许多精力讲解我们的工作。没有人在意，没有人说它可能测量，从1948年到1955年一直这样，我们最后放弃了。"

伽莫夫大无畏地出版他的书、发表演讲，成为第一位推出大爆炸理论的人。但是他也碰到了他的对手的激烈反对。当伽莫夫用他顽皮的笑话和妙语迷住他的听众时，他的对手弗雷德·霍伊尔则用自己的绝对智慧和敢做敢为的勇气吸引听众。



弗雷德·霍伊尔，反对者

微波背景辐射给了我们大爆炸的“第二个证据”。但是弗雷德·霍伊尔（Fred Hoyle）坚决反对通过核合成提供的大爆炸的第三个重要证据。他几乎用了他毕生的精力试图驳斥大爆炸理论。

霍伊尔（Hoyle）是一位学术怪人的化身，一位才华横溢的反对派，好斗风格，敢于挑战常规的至理名言。哈勃喜欢效仿牛津先生的怪癖，显得雍容华贵；伽莫夫则喜欢讲笑话、博学，能够用他的妙语、五行打油诗和恶作剧让他的听众眼花缭乱；而霍伊尔则看上去很奇怪，在剑桥大学古老的大厅里显得不合时宜，纯粹是一个艾萨克·牛顿的鬼魂。

霍伊尔（Hoyle）1915年生于英国北部一个以羊毛工业为主的地区，是一个小纺织商的儿子。霍伊尔小时候喜欢科学，那时候收音机刚刚进村。他回忆到：20到30个人急切地在他们的房间里装上无线电接收机。后来，他的父母作为礼物给了他一架望远镜，这成了他生活的转折点。

霍伊尔的好斗性格从童年就开始了。在3岁时他就掌握了乘法表，然后他的老师要他学罗马数字。他轻蔑地回忆道：“有哪个孩子会这么愚蠢地不写8，而写VIII呢？”当有人告诉他法律要求他进学校时，他写道：“我很不愉快地得出结论，我生来就要进入一个叫做‘法律’的怪物主宰的世界，它既强大又愚蠢。”

有一次，他和另一位教师发生的争执就更加强了他对权威的蔑视。一位女教师在班上对学生说：一种特别的花有5个花瓣。为了证明教师错了，他将有6个花瓣的花带进教室。对这种放肆无礼的反抗行为，这位女老师狠狠地在他的左耳处打了一个耳光。（霍伊尔的左耳后来变聋了。）



稳恒态理论

在20世纪40年代，霍伊尔不迷恋大爆炸理论。这个理论的一个过失是哈勃在测量光线从遥远的星系来时的误差，因此错误计算宇宙的年龄为18亿年。地质学者声称地球和太阳系的年龄大约为几十亿年。宇宙的年龄怎么能比它的行星年轻呢？

霍伊尔与他的同事托马斯·戈尔德（Thomas Gold）和赫尔曼·邦迪（Hermann Bondi）一起开始建立与此相反的理论。据说他们的稳恒态理论（steady state theory）是受到1945年由迈克尔·雷德格雷夫（Michael Redgrave）主演的叫做《夜晚的死者》（*Dead of Night*）这部鬼片所启发的。这部影片由一系列鬼的故事组成，但是在影片的结尾有一个难忘的转折：影片的结尾就像开始一样。因此这部影片是循环的，无止无尽。这部影片启发他们三人提出一个宇宙也是无始无终的理论。（戈尔德〔Gold〕后来澄清了这个传说。他回忆道："我想我们几个月前看了那部影片，后来我提出稳恒态理论，我对他们说：'是不是有点像《夜晚的死者》呀？'"）

在这个模型中，宇宙的各个部分事实上在膨胀，但是新的物质不断地从无产生，因此宇宙的密度保持不变。尽管这个模型不能给出物质怎样神秘地从无到有的详细描述，然而，这个理论立刻吸引了一群反对大爆炸理论的忠实支持者。对霍伊尔来说，在某个地方发生火灾，从而将星系以飞快的速度送往各个方向的说法是不合逻辑的。他倾向于物质是从无中慢慢地创造出来的。换句话说，宇宙是永恒的，是无始无终的。

（稳恒态理论和大爆炸理论之争，就像地质学和其他科学之争一样。在地质学中，有持久的均变论和灾变论之争。〔均变论认为地球是在过去逐渐变化中形成的，灾变论认为变化是通过剧烈的事件发生的。〕尽管均变论解释了很多地球地质的和生态的特点，但没有人否定彗星和流星曾经对生物的大量灭绝产生过影响，以及由于构造漂移所产生的大陆破碎和移动的影响。）



BBC讲演

霍伊尔绝不回避论战。1949年，BBC（英国广播公司）邀请霍伊尔和伽莫夫就宇宙起源问题进行辩论。在BBC广播期间他猛烈攻击对方的理论，做了影响历史进程的大事。他击中要害地说：“这些理论（指伽莫夫的理论）是根据假设宇宙的所有物质都是在遥远过去一个特定的时间在一次大爆炸中产生出来的。”这个理论现在被它的最大的反对者正式命名为“大爆炸”。（霍伊尔后来声称，他不打算贬低它。他承认说：“我找不到办法创造一个短语来贬低它，我创造这个短语是为了吸引人。”）

（多年以来，大爆炸的支持者极力想改变这个名字。他们不满意这个名字，嫌这个名字太普通，含义粗俗，而且是由它的最大的反对者杜撰的。纯化论者尤其不满意，因为事实上它是不正确的。第一，大爆炸不大，它是从比一个原子小得多的某种类型的微小奇点中产生的。第二，没有爆炸声，因为在外层空间没有空气。1993年8月，《天空和望远镜》杂志发起一次重新命名大爆炸理论的竞赛。此竞赛得到13000个题目，但是裁判找不到比原来更好的叫法。）

确定霍伊尔在整整一代人中的名望的，是他的著名的有关科学的BBC系列讲座。20世纪50年代，BBC计划在每星期六晚举办科学讲座。原来邀请的客人取消了讲座，BBC制作人被迫找人代替。他们与霍伊尔联系，他同意上场。然后，他们校核他的文件，看到一张便条上说：“不要用这个人。”

幸亏他们没有理睬前一制作人的可怕的警告，他向世界作了5次迷人的讲座。这些经典的BBC广播令国人着迷，特别启发了下一代天文学家。天文学家华莱士·萨金特（Wallace Sargent）回忆这些广播对他产生的影响：“当我15岁的时候，我听了弗雷德·霍伊尔在BBC举办的题目为‘宇宙的本性’的讲座[3]。我们能知道太阳中心的温度和密度这个想法着实让我吃惊。在15岁的年纪，这些事情似乎是超出了知识的范围。不只是数字惊人，我们能知道它也让人不可思议。”



恒星中的核合成

霍伊尔不愿意坐在扶手椅上空想，开始行动测试他的稳恒定状态理论。他认为宇宙的元素不是像伽莫夫所相信的那样是在大爆炸中烹调出来的，而是在恒星的中心产生的。如果100多种化学元素是由恒星的高温产生的，那么就根本没有大爆炸的必要。

霍伊尔和他的同事在20世纪40年代和50年代发表了一系列的文章，详细地展示了在恒星核心内部的核反应，而不是大爆炸，能够将更多更多的质子和中子加入到氢和氦的核子中，直至产生所有的重元素，至少到铁为止。（霍伊尔和他的同事解决了难住伽莫夫的怎样产生超过原子质量数为5的元素的秘密。在天才的一闪念之间，霍伊尔认识到如果有一个原来没有注意的从3个氦核子产生的不稳定形式的碳，它持续的时间刚好够长，就可以成为产生较重元素的“桥梁”。在恒星的核心，这个新的不稳定形式的碳持续的时间也许刚好够长，通过不断增加更多的中子和质子，就可以产生出超过原子质量数5和8的元素。当这个不稳定形式的碳被实际发现时，就会辉煌地证明核合成可以在恒星内部发生，而不是通过大爆炸发生。霍伊尔甚至编制了大型计算程序，从这些原理出发确定我们在自然界看到的元素的相对富裕程度。）

但是，即便是恒星的高温也不足以“烹调”超出铁的元素，如铜、镍、锌、铀等。（由于各种原因，通过熔合超出铁的元素来吸取能量是极其困难的，包括原子核中质子相互排斥和缺乏结合能。）对于这些重元素，需要一个更大的熔炉，即大质量恒星或超新星的爆炸。当超巨星剧烈地坍塌时，在它最终死亡的剧痛中可以得到几亿度的高温，就有足够的能量“烹饪”超出铁的元素。这意味着超出铁的元素只能从爆炸的恒星或超新星的大气中抛出来。

1957年，霍伊尔、玛格丽特（Margaret）、杰弗里·伯比奇（Geoffrey Burbidge）和威廉·福勒（William Fowler）发表了仿照伽莫夫一贯有之的典型方式，甚至杜撰出下面一段用圣经风格写出的话。一篇大概是最有权威性的著作，详细描述了建造宇宙元素和预计它们的已知富裕程度所需要的精确步骤。他们论据的精确性是如此之强大和令人信服，甚至伽莫夫也不得不承认霍伊尔给出了核合成最引人注目的描述。

> 当上帝创造元素的时候，在计算的激动中他忘了需要质量数为5的元素，因此重元素不能形成。上帝非常失望，想先与宇宙联系，全都重新开始。但这样做就太简单了。于是，全能的上帝决定以最不可能的方式纠正他的错误。上帝说：“让霍伊

尔出来吧。”霍伊尔就出来了。上帝看着霍伊尔……让他用他喜欢的方式制造重元素。霍伊尔决定在恒星中制造重元素，并通过超新星爆炸把它们散布到四周。



反对稳恒态理论的证据

然而，在过去十年间，不利于稳恒态宇宙的证据越来越多。霍伊尔发现在辩论中不能取胜。在他的理论中，因为宇宙不演变，只是不断创造新的物质，所以早期的宇宙看上去应当很像今天的宇宙。今天看到的星系应当很像几十亿年前的星系。如果有迹象表明在几十亿年的进程中有巨大的演变性变化，稳恒态理论就会遭到驳斥。

20世纪60年代，在外层空间发现一个叫做“类星体”的极其强大的神秘的源，或叫做准恒星天体。（这个名字是这样容易让人记住，因此一种电视机以它命名。）类星体产生巨大的能量，有着显著的红色频移，这意味着它们在可见宇宙的边缘，在宇宙很年轻时它照亮天空。（今天，天文学家相信这些是靠巨大黑洞能量驱动的巨大的年轻星系。）然而，我们今天看不到任何类星体的迹象。但是根据稳恒态理论今天也应该有类星体存在。但是经过几十亿年它们消失了。

霍伊尔理论还有另一个问题。科学家认识到，宇宙中有太多的氦与霍伊尔的稳恒态宇宙预计的不符。氦是一种熟悉的、在小孩子的气球和小型飞船中可以发现的气体，实际上它在地球上是很稀少的，而在宇宙中它是仅次于氢的第二个最丰富的元素。事实上，因为它在地球上是如此之少，所以它是首先在太阳上发现的，而不是在地球上发现的。（1868年，科学家分析了从太阳发出的透过棱镜的光线。被检测的太阳光分解成通常的彩虹和谱线，但是科学家也检测到由以前不知道的神秘元素引起的微弱的谱线。科学家错误地认为它是金属，他们将这个神秘的金属命名为“氦”，希腊单词的意思是“太阳”。最后于1895年在地球的铀矿中发现了氦，科学家尴尬地发现它是气体，不是金属。因此，首次在太阳上发现的氦在取名时用词不当。）

如果原始的氦是像霍伊尔相信的那样主要在恒星中产生的，那么它应该很少，并且应该在恒星的内核附近发现它。但是所有天文学数据说明，实际上氦是很丰富的，构成宇宙原子质量的25%。而且发现，它在宇宙间是均匀分布的，如伽莫夫相信的那样。

今天，我们知道有关核合成，伽莫夫和霍伊尔都有对的地方。伽莫夫原来想所有元素是大爆炸的原子尘埃或灰烬。但是这个理论在处理5个粒子和8个粒子时失败了。霍伊尔想抛开大爆炸理论，证明是恒星制造了所有的元素，根本不需要乞求大爆炸。但是这个理论不能解释我们现在知道的在宇宙中存在大量的氦。

伽莫夫和霍伊尔从本质上给了我们值得称赞的核合成的描述。质量

数为5和8之前的非常轻的元素的确是大爆炸创造的，像伽莫夫相信的那样。今天，作为物理学的发现结果，我们知道大爆炸确实产生了大多数的我们在自然界看到的氦，氦-3、氦-4和氦-7。但是铁之前的重元素是在恒星的核心烹调出来的，像霍伊尔想象的那样。如果我们再加上由超新星极高温度中抛出的铁之后的元素（如铜、锌和金），我们就有了解释宇宙中所有元素相对含量的完整的描述。（任何现代宇宙学的各种理论都有一个艰难的任务：解释宇宙中100多种元素和它们的种种同位素的相对含量。）



恒星的诞生

这个关于核合成的激烈争论带来一个副产品，它给了我们恒星生命周期的相当完整的描述。一个典型的恒星，如我们的太阳的生命是从一个叫做“原恒星”的大的弥散氢气球开始的，在引力的作用下逐渐收缩。当它开始收缩时，它开始迅速旋转（通常导致双星系统的形成，两颗恒星在圆形的轨道上互相追赶，或在恒星的旋转平面形成行星）。恒星核心的温度急剧上升，达到将近1000万度（K）或以上，这时氢熔合成氦。

在恒星点燃之后，它被叫做“主序列星”，可以燃烧大约100亿年，它的内核缓慢地从氢变成氦。我们的太阳当前处在这个过程的中途。在氢燃烧完后，恒星开始燃烧氦，并且它的尺寸膨胀得很大达到火星的轨道，变成“红巨星”。在内核中的氦燃料耗尽之后，恒星的外层消散，留下内核本身，成为地球大小的“白矮星”。在白矮星中，可以产生元素周期表上铁以前的较轻元素。像我们太阳这样较小的恒星将在空间中死亡，成为矮星中的熄灭了的大块核材料。

但是，如果恒星的质量比我们的太阳大10倍到40倍，熔合过程将进行得更加迅速。当恒星变成超红巨星时，它的内核迅速熔合较轻的元素，成为一颗混合星，在红巨星的内部是一颗白矮星。在这颗白矮星，产生出在元素周期表上比铁轻的元素。当熔合进程达到产生铁元素的阶段，从熔合过程中再也提取不出能量。结果经过几十亿年后核炉将最终关闭。在这时，恒星将突然坍塌，产生巨大的压力将电子压向原子核。（密度可以超过水的密度的4000亿倍。）使温度上升到万亿度。将它压缩成这样小的物体的引力能向外爆炸形成超新星。这个过程所产生的巨大热量再一次引起熔合，合成在元素周期表上超出铁的元素。

例如，可以很容易在猎户星座看到的超红巨星是不稳定的，随时可能爆炸成为超新星，放出大量的伽马射线和X射线到周围的空间。当这种情况发生时，就可以在白天看到这颗超新星，在夜晚它的亮度将超过月亮。（曾经有人设想，超新星释放的巨大能量毁灭了6500万年前的恐龙。事实上，如果一颗超新星离开我们的距离为50光年，它一旦爆炸将结束地球上的所有生命。幸运的是，角宿星座的一颗巨星角宿〔Spica〕和猎户星座的一颗巨星参宿四〔Betelgeuse〕分别离开我们260光年和430光年。因为离得太远，当它们爆炸时不会对地球引起严重的损伤。但有些科学家相信：200万年前一小部分海洋生物的灭绝，是由离开我们120光年的一颗恒星的超新星的爆炸引起的。）

这也意味着我们的太阳不是地球真正的“母亲”。尽管地球上很多人

把太阳崇拜为神，说它诞生了地球，这只是部分正确的。尽管地球原来是从太阳产生的（作为45亿年前在黄道平面上围绕太阳旋转的碎片和尘埃的一部分），但我们的太阳的热量不够大，只够将氢熔合成为氦。这意味着我们真正的太阳“母亲”实际上是一颗不知名的恒星或恒星集，它是一颗在几十亿年前就死亡了的超新星，在它的周围播下了有着构成地球的超出铁的重元素的星云。精确地讲，我们的地球是几十亿年前消亡的恒星的星尘构成的。

超新星爆炸的结果形成一个很小的叫做中子星的残骸，由压缩成曼哈顿岛那样大小，尺寸只有20英里（32.19千米）的固体核物质组成。（中子星是瑞士天文学家弗里茨·兹维基〔Fritz　Zwicky〕于1933年首先预测到的，因为看起来太神奇了，被科学家忽略了几十年。）因为中子星不规则地释放出放射物，并且快速地旋转，它像一个旋转的灯塔，在旋转中喷出放射物。从地球上看去，中子星在脉动，因此叫做脉冲星。

大约比40个太阳质量还大的极大的恒星，最终经历超新星爆炸后可能留下一个比太阳质量大3倍的中子星。这颗中子星的引力是如此之大，以至能够抵消中子之间的排斥力，这颗星将最终坍塌形成大概是宇宙中最奇异的物体，即黑洞，我们在第5章将讨论它。



鸟屎和大爆炸

阿尔诺·彭齐亚斯（Arno Penzias）和罗伯特·威尔逊（Robert Wilson）在1965年发现了稳恒态理论最关键的问题。他们在新泽西州装备有霍尔姆德尔·霍恩（Holmdell Horn）射电望远镜的20英尺（6.1米）高的贝尔实验室工作，在他们从天空寻找无线电信号时，他们检测到不想要的静电噪音。他们想这可能是一个异常，因为这些噪音均匀地来自各个方向，而不是来自一颗恒星或一个星系。他们想这些静电噪音可能是尘土和碎片造成的，于是他们仔细清除罩在射电望远镜开口处的一层白色涂层，彭齐亚斯（Penzias）把它称做“一层介质材料的白色涂层”（通常叫做鸟屎），结果静电噪音似乎更强了。尽管他们还没有认识到，他们偶然发现了1948年伽莫夫小组预计的微波背景辐射。

现在宇宙学的历史读起来有点像“基斯通警察”的无声喜剧片，有三个小组在探索答案，而彼此不知道别人在做什么。一方面，伽莫夫、阿尔弗（Alpher）和赫尔曼（Herman）于1948年奠定了理论，预计了微波背景辐射的存在，他们预计微波背景辐射的温度在绝对零度以上5度，因为那时的仪器的灵敏度不能检测到它，他们放弃了测量空间背景辐射的希望。在1965年，彭齐亚斯（Penzias）和威尔逊（Wilson）发现了这个黑体辐射，但却不知道它是黑体辐射。同时，由普林斯顿大学罗伯特·迪克（Robert Dicke）领导的第三组独立地重新发现了伽莫夫的理论并积极寻找背景辐射，但是他们的仪器太原始了，所以没有找到。

天文学家伯纳德·伯克（Bernard Burke）是他们的共同朋友，当他告诉彭齐亚斯（Penzias）有关罗伯特·迪克（Robert Dicke）的工作时，这个可笑的情形结束了。两个小组后来互相联系，显然彭齐亚斯（Penzias）和威尔逊（Wilson）已检测到大爆炸本身发出的信号。由于这一重大的发现，彭齐亚斯（Penzias）和威尔逊（Wilson）1978年得了诺贝尔奖。

事后才知道，霍伊尔和伽莫夫这两位持相反观点的最著名的对手，曾于1956年在一辆凯迪拉克轿车中，有过一次也许能改变宇宙学命运的至关重要的会见。霍伊尔回忆道：“我记得乔治（George）开一辆白色凯迪拉克带我在四周转。”伽莫夫向霍伊尔重复他的信念，大爆炸留下的余晖甚至到今天还能看到。然而，伽莫夫的最新数字将余晖的温度确定为绝对温度50度。然后，霍伊尔令人吃惊地向伽莫夫指出，他知道安德鲁·麦凯勒（Andrew McKellar）在1941年写的一篇晦涩的文章，该文指出外层空间的温度不可能超过绝对温度3度。超过这个温度就会发生新的化学反应，在外层空间就会产生更多的碳氢基（CH）和氰基（CN）。通过测量这些化合物的存在，就可以确定外层空间的温度。事

实上，他发现他检测到的空间氰基（CN）分子的密度，说明外层空间温度大约为绝对温度2.3度。换句话说，伽莫夫不知道绝对温度为2.7度的背景辐射在1941年已经间接地测量到了。

霍伊尔回忆说："不管是因为凯迪拉克轿车太舒适了，还是因为乔治（George）想要绝对温度高于3度（K），而我想要的温度为绝对零度，我们错过了9年之后由阿尔诺·彭齐亚斯（Arno Penzias）和罗布·威尔逊（Rob Wilson）所做出的发现的机会。"如果伽莫夫小组的数值没有计算错而得出的是较低的温度，或者如果霍伊尔对大爆炸理论不是这么敌对，也许历史就要改写了。



大爆炸的余震

彭齐亚斯（Penzias）和威尔逊（Wilson）检测到微波背景辐射的这一发现，对伽莫夫和霍伊尔的生涯产生了决定性的影响。对霍伊尔来说，彭齐亚斯（Penzias）和威尔逊（Wilson）的工作是一个至关重要的实验。最后，霍伊尔在1965年的《自然》杂志上正式承认失败，引用微波背景辐射和在太空中富含氦作为放弃他的稳恒态理论的理由。但是真正扰乱他的是稳恒态理论失去了它的预测能力，他说："人们广泛相信微波背景辐射扼杀了'稳恒态'宇宙学，但是真正扼杀稳恒态理论的是心理影响……在微波背景辐射中有一个重要的现象没有预计到……很多年来，它使我感到无能为力。"（霍伊尔后来试图修改他的稳恒态宇宙理论，但每次修改后的理论变得越来越似是而非。）

不幸的是，有关优先权的问题（是谁首先发现微波背景辐射？）使伽莫夫尝到了苦果。从字里行间我们可以看到伽莫夫一点也不高兴他的工作和阿尔弗（Alpher）及赫尔曼（Herman）的工作很少被人提起。他一直对人很有礼貌，他把这些不快深深埋藏在心里，但是在他写给别人的私人信件中，他说物理学家和历史学家完全忽略了他们的工作是不公正的。

尽管彭齐亚斯（Penzias）和威尔逊（Wilson）的工作对稳恒态理论是一个巨大的冲击，并帮助将大爆炸理论放在了坚实的实验基础上，但是在我们理解膨胀宇宙的结构问题上仍有巨大的缺口。例如，在弗里德曼（Friedmann）的宇宙中，要理解宇宙的演变，我们必须知道宇宙物质平均分布的欧米伽值。然而，当我们认识到宇宙的大部分不是由熟悉的原子和分子，而是由质量比普通物质大10倍的叫做"暗物质"的奇怪的新物质组成时，欧米伽值的确定就成了一个大问题。在这个领域的领袖人物也没有被天文学界的其他人认真对待。



欧米伽和暗物质

暗物质的故事大概是宇宙学中最奇怪的一章。回到20世纪30年代，加利福尼亚理工学院的瑞士天文学家弗里茨·兹维基（Fritz Zwicky）注意到，后发座星系团（Coma cluster of galaxies）的星系运动不遵照牛顿引力定律。他发现，这些星系运动得太快，根据牛顿运动定律它们应当飞散开来，星系团应当解散。他想，能让后发星座星系团聚在一起而不是飞散的唯一办法，是星系团的质量要比望远镜看到的大几百倍。要么是牛顿定律在极大的距离时多少有些不正确，要么是在后发星座星系团中有巨大的看不见的物质将它们聚集在一起。

这是在历史上第一次指出，关于宇宙中物质的分布的有些事情是完全错了。不幸的是，由于以下几个理由，天文学家一致拒绝或忽略了兹维基（Zwicky）的先驱工作。

第一，天文学家不愿意相信几个世纪以来在物理学占统治地位的牛顿引力理论会可能出错。在天文学中有过这样的处理危机的先例。19世纪，在分析天王星的轨道时发现它有些摆动，即它少许偏离了牛顿方程的预计。这样要么是牛顿错了，要么有一颗新的行星的引力在吸引天王星。后者的说明是正确的，1846年按照牛顿定律预计的位置在第一次尝试后发现了海王星。

第二，有一个兹维基（Zwicky）的个性和一个天文学家如何对待“外人”的问题。兹维基（Zwicky）是一位空想家，在他的一生中常常被嘲笑或忽视。1933年，他和沃尔特·巴德（Walter Baade）一起杜撰了“超新星”这个词，并正确地预计到直径大约14英里（22.53千米）的小中子星将是一颗爆炸恒星的最终的残迹。这个想法太怪了，以至在1934年1月19日《洛杉矶时报》的漫画中受到嘲笑。有一小组顽固的天文学家使他非常愤怒，他认为他们排斥他、不承认他、偷窃他的思想，用直径100到200英寸（2.54～5.08米）的望远镜来放大诋毁他。（在他1974年去世前不久，他自己出版了一个星系的目录。目录开头的标题是：“提醒美国天文学的主教和献媚者。”这篇论文尖锐地批评那些所谓的天文学精英的排外做法，将像他这样的持不同意见者排斥在外。他写道：“今天的献媚者和彻头彻尾的小偷，特别是在美国的天文学界，似乎是肆无忌惮地盗窃持不同意见者和非遵逢者的发现和发明。”他把这些人叫做“天体私生子”，因为“无论你怎么看，他们都是私生子”。当为中子星的发现而颁发的诺贝尔奖忽略了他而授予别人时，他感到非常愤怒。）[4]

1962年，天文学家维拉·鲁宾（Vera Rubin）再次发现这个奇怪的银

河运动的问题。她研究了银河系的旋转，发现了同样的问题。她也受到类似的天文学界的轻视。通常，行星离太阳越远它跑得越慢，离得越近它跑得越快。这就是为什么水星以速度之神命名的原因，它离开太阳最近跑得最快。为什么冥王星的速度只有水星的十分之一呢？因为它离开太阳最远。然而，当维拉·鲁宾（Vera Rubin）分析我们星系中的蓝星时，她发现这些恒星以同样的速率绕星系旋转，不管它们离开星系中心有多远（叫做平直的旋转曲线），因此违背了牛顿力学的概念。事实上，她发现银河系旋转得如此之快，按理应该飞散出去。但是大约100亿年来，这个星系十分稳定。为什么旋转曲线是平的成了一个秘密。为保持这个星系不分解，它必须比当前科学家想象的重10倍。显然，银河系90%的质量丢失了！

维拉·鲁宾（Vera Rubin）被忽视了，部分原因是她是一位妇女。她有些痛苦地回忆到，当她申请去斯沃斯莫尔（Swarthmore）学院读科学专业，并礼貌地告诉招生负责人她喜欢绘画时，会见者说："你有没有考虑过绘制天体美景这个职业呢？"她回忆说："这句话成了我们家的一句时髦用语，不管什么事情、什么人错了，我们都会说你有没有考虑过绘制天体美景这个职业呢？"

当她告诉她的高中物理老师她被接受去瓦瑟（Vassar）读书时，他回答："只要你不沾科学的边，就不会有什么问题。"（她后来回忆道："对待这样的事情，需要自尊才不至于被压垮。"）

毕业后，她申请并被接受去哈佛大学，但她没有去，因为她和一位化学家结婚了，跟她丈夫去了科内尔（Cornell）。（她得到哈佛大学的一封回信，信底有一行手写的话："该死的妇女！每当我得到一位好的学生，一切都准备好后，她又跑了、结婚了。"）近来，她参加了在日本召开的一次天文学会议，她是与会的唯一妇女。她承认："很长一段时间以来，我一讲这些故事就不得不哭，因为在一整代人中，可怕的命运没有改变。"

然而，在她的仔细工作和其他人的工作的影响下，天文学界开始相信丢失质量问题。到1978年为止，鲁宾（Rubin）和她的同事考察了11个螺旋星系。这些星系都旋转得太快，根据牛顿定律不能聚在一起。同一年，荷兰射电天文学家艾伯特·博斯马（Albert Bosma）发表了迄今为止最完整的几十个螺旋星系的分析。几乎所有这些星系呈现同样的反常行为。这似乎最终使天文学界信服暗物质的确存在。

对这个令人烦恼的问题的最简单的解释方法，是假定这些星系被不可见的光环包围，光环所包含的物质比恒星本身大10倍。自那时以来，已开发出更完善的测量这些不可见物质存在的手段。给人印象最深的办法是测量星光通过这些不可见物质发生的扭曲。像你的眼睛的镜片一样，暗物质也能使光线弯曲。（因为它的巨大质量和由此产生的巨大引力。）近来，通过用计算机仔细分析哈勃空间望远镜的照片，科学家能够构造整个宇宙暗物质分布图。

科学家一直在热烈地探讨暗物质是由什么构成的。有些科学家认为暗物质也许是由普通物质构成的，不同的是它非常暗淡（即由几乎不可见的褐色矮星、中子星、黑洞组成）。这样的物体由“重子物质”集合在一起，即由熟悉的重子（如中子和质子）构成。这些物体全都叫做MACHOs（大质量致密晕轮天体的缩写，Massive Compact Halo Objects）。

另一些人认为，可能暗物质是由非常热的非重子物质，如中微子（叫做热的暗物质）构成。然而，中微子运动太快，不能解释在自然界看见的大量暗物质和星系。还有一些人认为，暗物质是由完全新型的叫做“冷暗物质”，或弱相互作用重粒子（WIMPS，weakly interacting massive particles）构成的，它们是解释大多数暗物质的主要候选人。



COBE卫星

利用自伽利略以来天文学广泛应用的普通望远镜，我们不可能解决暗物质的秘密。天文学已经进展到可以利用标准的固定在地面上的光学仪器。然而，在20世纪90年代，出现了新一代利用卫星技术、激光和计算机的天文仪器，完全改变了宇宙学的面貌。

这些收获的第一批成果之一是1989年11月发射的COBE（宇宙背景探测者，Cosmic Background Explorer）卫星。彭齐亚斯（Penzias）和威尔逊（Wilson）的原始工作证实了有不少数据与大爆炸理论一致，而COBE卫星则能够测量大量的数据，它们精确地符合伽莫夫和他的同事在1948年所做的黑体辐射的预测。

1990年，在美国天文学会的一次会议上，当代表们看到视图上显示的COBE卫星结果时，在场的1500名科学家突然爆发出雷鸣般的经久不息的掌声，几乎是全体一致地同意温度为2.728度（K）的微波背景辐射确实存在。

普林斯顿大学的天文学家耶利米·P．奥斯特里克（Jeremiah P．Ostriker）评论说：“当在岩石中发现化石时，它使生物物种的起源一目了然。很好，COBE发现了（宇宙的）化石。”

然而，从COBE卫星得出的视图十分模糊。例如，科学家想要分析“热点”，或宇宙背景辐射的波动，此波动在整个天空中应该大约为1度（K）。但是COBE卫星的仪器检测的波动为7度或比7度还多，因此其灵敏度不能检测这些小的波动。科学家被迫等待预计将于世纪之交过后发射的WMAP卫星的结果，他们希望这颗卫星能够解决诸多这样的问题和秘密。

第4章　膨胀和平行宇宙

从无不能生无。

——卢克莱修（Lucretius）

我假定我们的宇宙是在大约10^{10}年前从无产生的……我提出一个谨慎的建议，我们的宇宙只是有时发生的那些事件之一。

——爱德华·特赖恩（Edward Tryon）

宇宙是一顿最终的免费午餐。

——艾伦·古思（Alan Guth）

在波尔·安德森（Poul Anderson）写的一部经典科幻小说《τ-零度》（*Tau Zero*，又译《T-零》）中，一艘叫做利奥诺拉·克里斯廷（Leonora Christine）的星际飞船升空，使命是飞往附近的恒星。它乘载有50人，当它驶往一个新的星系时，它达到的速度接近光速。更重要的是，这艘飞船用了狭义相对论原理，当它飞得更快时飞船里面的时间减慢。因此，从地球上看上去，飞往附近的恒星需要几十年，但是对宇航员来说仅需飞行几年。对一位在地球上用望远镜瞭望宇航员的观察者看来，似乎飞船里宇航员的时间冻结了，因此他们好像处在一幅暂停的动画中。但是对飞船里的宇航员来说，时间的进程照常。当这艘飞船减速登上一个新的世界时，他们发现他们仅在几年中就驶过了30光年。

这艘飞船的发动机是一个奇迹，它是一台冲压式喷气核聚变发动机，从深层空间提取氢，然后在这台发动机中燃烧产生无限的能量。它飞行得如此之快，以至宇航员甚至可以看到光线的多普勒频移，在飞船前面的恒星看上去是蓝色的，而飞船后面的恒星看上去是红色的。

然后灾难发生了。离开地球大约10光年后，当它穿过一片星际尘埃云时，飞船经受了动荡，它的减速机械装置永久地失灵了。惊恐的宇航员发现他们被困在飞跑的星船上，速度越来越快，接近了光速。他们绝望地看到失去控制的飞船在大约几分钟的时间内飞过了整个星系。在一年之内，这艘飞船穿过半个银河系。当它加速失去控制时，它在大约几个月的时间飞速通过星系，这时地球已过了几百万年。很快，飞行的速度接近光速，τ-零度显现，他们看到了戏剧性的场面，宇宙在他们的面前开始变老。

最后，他们看到了宇宙的原始膨胀在逆转，宇宙开始收缩，温度开始急剧升高，他们认识到他们正走向大火海。宇航员们默默地祈祷，这时温度像火箭一样上升，星系开始熔合，在他们面前形成了一个宇宙的

原始原子。看上去被火葬已不可避免。

他们唯一的希望是宇宙物质将坍缩到一个有限密度的有限区域，以巨大速度飞行的飞船也许能迅速地滑过这片区域。奇迹发生了，当他们飞过原始原子的时候，他们的屏蔽系统保护了他们。他们看到了一个新宇宙的诞生。当宇宙重新膨胀时，他们敬畏地看到新的恒星和星系在他们的眼前产生。他们修好了飞船，仔细地绘制航线，飞往一个足够老的、由较重元素构成的、使生命有可能存在的星系。最终，他们在一颗能够孕育生命的行星上着陆，在这个行星上开辟一块殖民地，重新开始人类的生活。

这个故事写在1967年，这时天文学家就宇宙的最终命运正展开激烈的争论：宇宙将死于大火海或大冻结，将无限地振荡或永远生活在稳定状态。自那以后，争论似乎解决了，出现了叫做膨胀的新理论。



膨胀的诞生

1979年，艾伦·古思（Alan Guth）在他日记里写道："壮观的实现。"他认识到他可能偶然发现了宇宙学最伟大的思想之一，因此感到很高兴。古思通过基本的观察，对50年来的大爆炸理论做了首次重大的修改。他想：如果他假定在宇宙诞生的时候经历了涡轮增压式的比大多数物理学家所相信的要快得多的超级膨胀，他就能解决宇宙学的一些深奥的谜。他发现用这个超级膨胀就能够毫不费力地解决许多深层的宇宙学问题。这是一个能够变革宇宙学的思想。（最近的宇宙学数据，包括WMAP卫星的探测结果和他的预计是一致的。）它不仅是宇宙学理论，也是迄今为止最简单和最可靠的理论。

这个理论的显著特点是，如此简单的思想能够解决很多棘手的宇宙学问题。膨胀理论所巧妙地解决了的几个问题之一是"平坦性问题"。天文学数据已表明宇宙的曲率十分接近于零，事实上比标准大爆炸理论预计的要更接近于零。如果宇宙像一个迅速膨胀的气球，在膨胀过程中变平，这样问题就可以得到解释。我们像一个蚂蚁在气球表面行走，因为我们太小了看不到气球的微小弯曲。膨胀使空间-时间极大地伸展，使它看上去是平的。

古思的发现具有的历史意义还在于，它将分析自然界发现的微小粒子的基本粒子物理学应用到天文学，应用到宇宙的整体研究，包括它的起源中。我们现在认识到没有极小粒子的物理学：没有量子理论和基本粒子物理学，宇宙的最深奥的秘密就不能揭示。



寻找统一

古思1947年生于新泽西州的新不伦瑞克（New Brunswick）。与爱因斯坦、伽莫夫或霍伊尔不同，没有仪器也没有契机推动他进入物理学世界。他的父母都不是从大学毕业的，对科学的兴趣也不大。但是他自己总是着迷于数学和自然规律之间的关系。

20世纪60年代他在麻省理工学院学习，他认真地考虑选择基本粒子物理学作为他的专业。他特别着迷于物理学的新革命所产生的激动，想寻找所有基本力的统一。多年来，物理学的泰斗一直在寻找统一的理论，能够以最简单的、最一致的方式解释宇宙的复杂性。自古希腊以来，科学家在想我们今天看到的宇宙代表一个更大的、更简单物体的碎片残骸，我们的目标是揭示这个统一性。

经过2000年对物质和能量性质的研究，物理学家确定了四种驱动宇宙的力。（科学家在试图寻找是否有第五种力，到目前为止结果是否定的，或没有结论。）

第一种力是引力，它将太阳聚拢在一起，并引导行星在太阳系的天体轨道上运动。如果引力突然“关闭”，天空的恒星将爆炸，地球将解体，我们都会以每小时1000英里（1609千米）的速度被抛到外层空间。

第二种力是电磁力，这个力点亮我们的城市，使我们的世界充满电视机、电话、收音机、激光束和因特网。如果电磁力突然关小，文明将立刻倒退一两个世纪，回到过去的黑暗和寂寞之中。2003年的灯火管制使美国整个东北部瘫痪，就形象地说明了这一点。如果我们从微观考察电磁力，我们将看到它实际上是由很小粒子，或叫做“光子”的量子造成的。

第三种力是弱核力，它是形成放射性衰变的原因。因为这个弱力不足以将原子核聚在一起而引起核子破裂或衰变。医院的核医学主要依靠弱核力，给我们身体内部和大脑的清晰图像。弱力也使地球中心通过放射性材料加热，产生巨大的火山喷发能。弱力的产生是由于电子和“中微子”的相互作用。（中微子是像鬼一样的粒子，几乎没有质量，能通过万亿英里的固体导线而不和任何物质发生相互作用。）这些电子和中微子通过交换，与其他叫做W玻色子和Z玻色子的粒子发生相互作用。

第四种力是强核力，它将原子核聚在一起。没有强核力，原子核将全部破裂，原子将崩溃。强核力是我们看到的充满宇宙的100多种元素

能够存在的原因。由于有弱核力和强核力，恒星才能按照爱因斯坦方程 $E = mc^2$ 发出光。没有核力，整个宇宙将变得黑暗，地球的温度将降低，海洋将冻结成冰。

这四种力的令人吃惊的特点是它们彼此全不相同，具有不同的强度和性质。例如，到目前为止，引力是四种力中最弱的力，只有电磁力的 10^{36} 分之一。地球的重量为60万亿亿吨，然而它的强大的重量和引力可以轻而易举地被电磁力抵消。例如，你的梳子可以通过静电将小纸片吸起，从而抵消整个地球的引力。此外，引力完全是吸引的。而电磁力可以是吸引的，也可以是排斥的，由粒子的电荷决定。



大爆炸理论的统一

物理学家面临的基本问题之一是：为什么宇宙是由四种截然不同的力支配的？为什么这四种力看上去相差这么多，强度、相互作用和物理行为都不同？

爱因斯坦是第一位着手将这些力统一成单一的、综合的理论的人，他从统一引力和电磁力开始。他没有成功，因为他走在他那个时代太前面了，有关强力知道得太少了，无法建立一个真正的统一的场论。但是爱因斯坦的先驱工作打开了物理学世界的视野，有可能建立一个“包容一切的理论”。

在20世纪50年代，统一场论的目标似乎完全没有希望达到，特别是那时基本粒子物理学处在一片混乱之中，想用原子对撞机破碎原子核找到物质的基本成分，结果从实验中发现几百个乃至更多的粒子流。“基本粒子物理学”从术语上就是矛盾的，成了一个宇宙的笑话。古希腊人想，只要我们将物质破碎到它的基本的建筑砖块，事情就变得简单了。相反的事情发生了：物理学家不得不尽力从希腊字母表中找出更多的字母来标志这些粒子。美国原子物理学家J．罗伯特·奥本海默（J．Robert Oppenheimer）开玩笑说，诺贝尔物理学奖应当授予在那一年没有发现新粒子的物理学家。诺贝尔奖获得者史蒂文·温伯格（Steven Weinberg）开始怀疑人类的智慧是不是能够解开核力的秘密。

然而，在20世纪60年代早期，这个混乱的情景多少有了一些条理，那时加利福尼亚理工学院的默里·盖尔曼（Murray Gell-mann）和乔治·茨威格（George Zweig）提出“夸克”的想法，夸克是构成质子和中子的成分。根据夸克理论，3个夸克构成1个质子或1个中子，1个夸克和反夸克构成1个介子（一个将核子聚拢在一起的粒子）。这仅仅解决了一部分问题（因为今天各种类型的夸克比比皆是），但是它确实将新的能量注入到曾经是隐匿的领域中。

1967年，物理学家史蒂文·温伯格（Steven Weinberg）和阿卜杜勒·萨拉姆（Abdus Salam）做出了惊人的突破，他们指出有可能将引力和电磁力统一。他们创造了一个新的理论，电子和中微子（叫做“轻子”）通过交换形成叫做W玻色子和Z玻色子的新粒子并和光子彼此发生相互作用。通过在完全相同的立足点上处理W玻色子和Z玻色子，他们创造了统一两种力的理论。1979年，史蒂文·温伯格（Steven Weinberg）、谢尔登·格拉肖（Sheldon Glashow）和阿卜杜勒·萨拉姆（Abdus Salam），因为他们的共同努力统一了四种力中的两种，即电磁力和弱力，并洞察到强核力的存在，所以被授予诺贝尔奖。

在20世纪70年代，物理学家分析了从斯坦福线性加速器中心（SLAC）的粒子加速器得出的数据。为了深入地探测质子的内部，物理学家用加速器将强大的电子束打到靶上。他们发现可以引进叫做“胶子”的新粒子来解释将质子内部的夸克聚在一起的强大的核力。胶子是强核力的量子。将质子聚合在一起的约束力可以由在组成它的夸克之间交换胶子来解释。于是得出一个叫做量子色动力学的强核力的新理论。

这样，到了20世纪70年代中期，有可能将四种力中的三种力结合在一起（除去引力），得到一个“标准模型”：一个夸克、电子和中微子的理论，它们通过交换胶子、W玻色子和Z玻色子与光子彼此相互作用。这个理论是粒子物理学几十年艰苦的、漫长的研究所达到的顶峰。到目前，标准模型满足所有的有关粒子物理学的实验数据，无一例外。

尽管标准模型是所有时代最成功的物理学理论，但它看上去十分别扭。很难相信自然界在基础的水平上是根据这个东拼西凑、修修补补的理论进行运作的。例如，该理论中有19个任意的参数是人为放进去的，没有任何意义和原因（即各种质量和相互作用强度不是理论确定的，而是不得不由实验确定。理想地，一个真正统一的理论的这些常数应由理论本身确定，而不依赖于外部实验）。

此外，基本粒子有3个精确的副本，叫做“代”。很难相信自然界在它最基本的水平上会包括亚原子粒子的3个精确副本。除这些粒子的质量外，这些“代”彼此互相复制。（例如，电子的副本包括μ介子，它的重量比电子重200倍，还有τ粒子，它比电子重3500多倍。）最后，标准模型没有提到引力，尽管引力是宇宙中最广为人知的一种力。

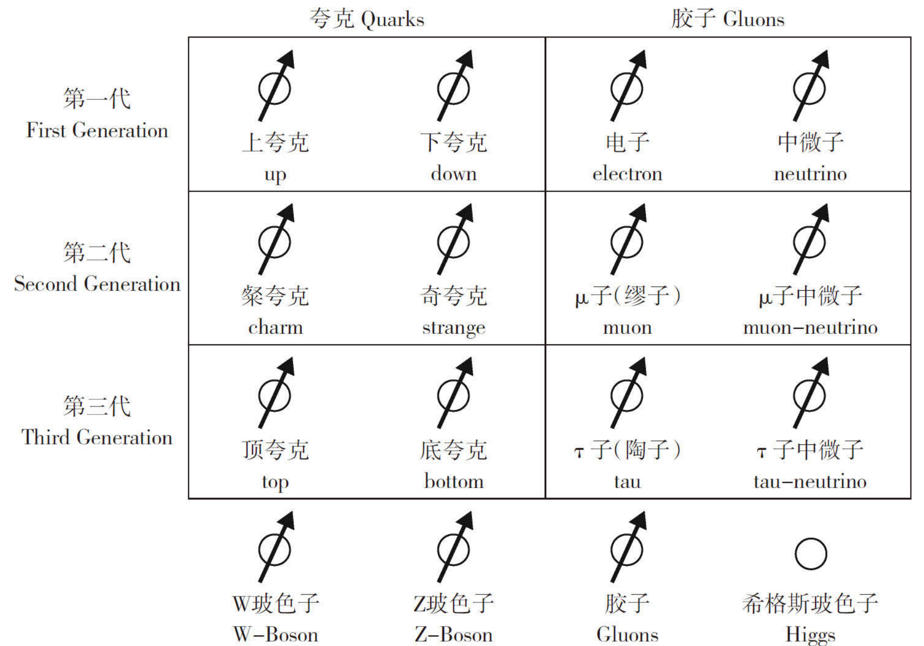


图7　这些是标准模型中包含的亚原子粒子，它是最成功的基本粒子理论。基本粒子是由构成质

子、中子的“夸克”以及电子和中微子这些“轻子”和很多其他粒子组成的。注意该模型导致的3个相同的亚原子粒子副本。因为标准模型不能说明引力（并且看上去太笨拙），理论物理学家认为它不是最终的理论。

因为标准模型虽然实验很成功，但看上去人为因素太多了，因此物理学家试图建立另一个理论，或叫做大统一理论（GUT），将夸克和轻子放在同一立足点上。它也把胶子、W玻色子、Z玻色子和光子放在同一级别上。（然而，因为引力仍然明显地遗留在外，这可能不是“最后的理论”。我们将看到，融合其他的力被认为是非常困难的工作。）

统一化的程序又将一个新的设想引进宇宙学。这个思想简单又优雅：在大爆炸时，所有四种基本力统一成单一的、一致的力，一种神秘的“超力”。所有四种力有同样的强度，是一个较大的、一致的、总体力的一部分。宇宙开始时处于尽善尽美的状态。然而，当宇宙开始膨胀和迅速冷却时，原始的超力开始“破裂”，不同的力一个一个地分解出去。

根据这个理论，宇宙在大爆炸后的冷却与水的冻结相似。当水是液体形态时，它是十分均匀的和光滑的。然而，当它冻结时，在它的内部形成几百万个小冰晶。当液体水完全冻结后，它原来的均匀性彻底消失了，成为含有裂纹、气泡和结晶的冰。

换句话说，今天我们看到的宇宙是可怕地破裂了。它根本不是均匀的和对称的，而是由犬牙交错的山脉、火山、飓风、小行星和爆炸的恒星组成，没有任何一致性，此外，四种基本力互相也没有任何关系。但是，宇宙如此破裂的原因是因为它太老了、太冷了。

尽管宇宙是从完美统一的状态开始的，今天它已经过了很多“相变”或状态的变化，当它冷却时，宇宙力一个一个地分裂出去。物理学家的工作是向回寻找，重新构建宇宙原来开始的步骤，研究它是怎样从完美的状态变成我们今天看到的破碎的宇宙。

因此，关键是要恰当地理解宇宙开始时这些相变是怎样发生的。物理学家将这些转变叫做“自发性破缺”。不管是冰的融解、水的沸腾、雨云的产生或大爆炸的冷却，相变可以将完全不同相的物质联系起来。（为了说明这些相变有多么强大，艺术家鲍勃·米勒〔Bob　Miller〕出了一个谜：“你怎样将500000磅〔226　800千克〕的水悬在空中，且没有可见的支撑？答案是：造一片云。”）



假真空

一个力从其他的力中破裂出来的过程，可以与一个大坝的破裂相比。河水从山上流下来，因为水往能量低的方向，即海平面的方向流动。最低的能量状态叫做“真空”。然而，有一个不寻常的状态叫做“假真空”（false vacuum）。例如，一个大坝挡住河水，这个大坝看上去是稳定的，但它实际上承受着巨大的压力。如果大坝出现一个小裂口，这个压力可能突然使大坝崩溃，从虚假的真空（被大坝挡住的洪水）释放出大量的能量，引起特大洪水流向真真空（海平面）。如果听任让大坝自发地破裂，并突然转变成真正的真空，整个村庄会被淹没。

类似地，在大统一理论（GUT）中，宇宙原来是从假真空开始的，三种力统一成一种单一的力。然而，这个状态是不稳定的，宇宙自发地破裂，从假真空向真真空（true vacuum）转变，从假真空统一的力向真真空分裂的力转变。

在古思开始分析GUT理论之前，这些情况已经知道了。但古思注意到某些其他人忽略的地方。在假真空状态，宇宙按照德西特尔（de Sitter）在1917年预计的以指数方式膨胀。假真空的能量是一个宇宙常数，它驱动宇宙以如此巨大的速率膨胀。古思问了自己一个非常重要的问题：这个指数方式的德西特尔（de Sitter）膨胀能解决宇宙学的一些问题吗？



磁单极子问题

很多大统一理论（GUT）的一个预计是在创世之初有大量的“磁单极子”产生。一个磁单极子是一个单一的北极或南极。在自然界，这些磁极总是成对发现的。例如一块磁铁，你看到它的北极和南极总是绑在一起的。如果你用一个榔头把这块磁铁敲成两半，你发现的不是两个磁单极子，而是两块较小的磁铁，每一块有它们自己的北极和南极。

然而问题是，经过几个世纪的实验，科学家没有发现磁单极子的确实证据。因为以前没有人看到过磁单极子，古思感到困惑，为什么大统一理论（GUT）会预计有这么多的磁单极子存在呢。古思评论说：“磁单极子像独角兽一样一直使我们着迷，尽管还没有确实看到它。”

然后，忽然灵机一动，所有零零碎碎的想法在一闪念间拼在了一起。古思认识到，如果宇宙开始时是处在假真空状态，它可能以几十年前德西特尔（de Sitter）提出的指数方式膨胀。在这个虚假的真空状态，宇宙突然膨胀的量可以是难以想象的大，因此稀释了磁单极子的密度。如果科学家以前从未见过一个磁单极子，仅仅是因为磁单极子散布到了比以前所想象的要大得多的宇宙中。

对古思来说，这个发现是惊愕和快乐之源。这样一个简单的想法能够在一瞬间解释磁单极子问题。但古思认识到，这个预计有着超出他原来想象的宇宙意义。



平坦性问题

古思认识到他的理论解决了另一个问题，即早些时候讨论的“平坦性问题”。标准的大爆炸描述不能解释为什么宇宙是非常平的问题。在20世纪70年代，人们相信描述宇宙物质密度的欧米伽值大约为0.1。而事实是，在大爆炸几十亿年后，这个数值仍然相当接近临界密度1.0。这个问题令人困惑。随着宇宙膨胀，欧米伽值（Ω）应当随着时间改变。这个数值接近1.0，让人感到不自在，因为它描述的是一个完全平坦的空间。

不管创世时欧米伽值是怎样一个适当的值，爱因斯坦方程显示它今天应当几乎为零。在大爆炸几十亿年后欧米伽值是如此接近于1，除非有奇迹才行。在宇宙学中这个问题叫做“微调问题”。上帝或某个造物主必须极其精确地“选择”欧米伽值，才能使它今天大约为0.1。为了使欧米伽值今天在0.1和10之间，在大爆炸后的第1秒钟时，欧米伽值必须为1.00000000000000。换句话说，在创世开始时，欧米伽值必须选择等于1，精度范围要在几百万亿分之一，这是很难理解的。

想象试图将一支铅笔竖直地立在它的笔尖上。无论你怎样平衡这支铅笔，它都会倒下来。要想让它平衡1秒钟都十分困难，更不要说几年。为了使欧米伽值今天等于0.1，必须进行大量的微调。在微调欧米伽值时一丁点儿错误都会使欧米伽值极大地偏离1。因此，为什么今天欧米伽值是如此接近于1呢？按理它应该极大地偏离于1才对。

对古思来说回答是明显的。宇宙膨胀的程度是如此巨大，因而使宇宙变平了。好比一个人，他看不到地平线的尽头，因此说地球是平的。天文学家得出结论说欧米伽值大约等于1，因为膨胀使宇宙变平。



地平线问题

膨胀不仅解释了支持平坦宇宙的数据，也解决了“地平线问题”。这是根据这样一个事实：夜晚的天空无论你向哪儿看都似乎是相当均匀的。如果你转180度，你看到宇宙是均匀的，即便你看到的是相距几百亿光年的宇宙的不同部分。强大的望远镜扫描天空也发现宇宙是均匀的，偏离很小。我们的空间卫星也显示宇宙微波辐射是极其均匀的。无论你看空间的何处，背景辐射的温度的偏离不超过千分之一度。

但是这是一个问题，因为光速是宇宙中的速度极限。在宇宙的一生中，光线或信息没有办法从夜晚天空的一侧跑到另一侧。例如，我们在一个方向看微波辐射，自大爆炸后它已行进了130亿年。如果我们转过来看相反方向，我们看到微波辐射是相同的，它也行进了130亿年。因为它们的温度都相同，在创世之初它们一定是融合在一起的。但是，自大爆炸后这些辐射没有办法从夜晚天空的一侧跑到另一侧（相距超过260亿光年）。

如果我们观察大爆炸后380000年后的天空情况就更糟了，这时背景辐射刚刚形成。如果我们看天空相反方向的两点，我们看到背景辐射几乎是均匀的。但是根据大爆炸理论计算，这相反的两点相距9000万光年（因为爆炸后空间的膨胀）。但是光不可能在380000年中行进9000万光年。辐射比光线跑得还要快，这是不可能的。

按理，宇宙应当看上去是多块状的，宇宙的一部分离开另一个遥远的部分的距离太远，难以接触。光线没有足够的时间混合，没有时间将辐射从遥远的一侧传播到遥远的另一侧，那么为什么宇宙看上去这样均匀呢？（普林斯顿大学的物理学家罗伯特·迪克〔Robert　Dicke〕将这个问题叫做地平线问题，因为地平线是你能看到的最远的点，光线能够传播的最远的点。）

但古思认识到膨胀也是解释这个问题的关键。他分析到，我们可见的宇宙大概是原始火球的一小片。这一小片本身的密度和温度是均匀的。但是膨胀突然将这一小片均匀物质扩大了10^{50}倍，比光速还要快，所以今天的可见宇宙相当地均匀。结果，夜晚天空和微波辐射是如此均匀的原因是：可见宇宙曾经是原始火球的均匀的一小片，突然膨胀变成了宇宙。



对膨胀的反作用

尽管古思确信膨胀的想法是正确的，但当他第一次登台演讲时还是有些紧张。当古思1980年提出他的理论时，他承认："我仍然担心理论的某些结果会有错误。也害怕我会暴露我是一位缺乏经验的宇宙学家。"但是他的理论是这样地优雅和强大，以至全世界的物理学家都立刻看到它的重要性。诺贝尔奖获得者默里·盖尔曼（Murray Gell-mann）惊呼："你解决了宇宙学最重要的问题！"诺贝尔奖获得者谢尔登·格拉肖（Sheldon Glashow）向古思透露说，史蒂文·温伯格（Steven Weinberg）听到有关膨胀理论时十分激动。古思焦急地问："史蒂文（Steven）有什么反对意见吗？"格拉肖（Glashow）回答："没有，他只是遗憾怎么自己没有想到。"科学家们问自己，他们怎么没有想到这个简单的解决方案呢？古思的理论得到理论物理学家的热烈欢迎，他们惊叹它的见识。

这对古思就业的前景也产生了影响。一天，因为工作市场的职位紧缺，他眼看就要失业了，他承认："我处在失业的边缘。"忽然，工作的机会从天而降，许多顶尖大学都向他提供职位。（但是，不是来自他的第一选择——麻省理工学院。但这时他读到一段有关人生的格言："如果你不胆怯，机会就在你的面前。"这给了他勇气打电话去麻省理工学院，要求一份工作。当几天后麻省理工学院打电话给他，答应给他一个教授的职位时，他惊呆了。他读到另一段格言："不要在冲动时采取行动。"他没有理睬这个劝告，决定接受麻省理工学院的职位。）"无论如何，一句中国格言也不能说明一切。"他对自己说。

然而，在古思的理论中仍然存在严重的问题。天文学家对古思的理论的兴趣不是很大，因为它在一个方面存在很大的缺陷：它给出错误的欧米伽值估计。欧米伽值大约接近于1可以由膨胀来解释。然而，膨胀比预计更大，并预计欧米伽值（或欧米伽值〔Ω〕加上拉姆达〔Λ〕）应精确等于1，才能与平坦宇宙相符。在随后的年代里，收集到的实验数据越来越多，在宇宙中找到大量暗物质。欧米伽值轻微移动，上升到0.3。但这对膨胀理论来说仍可能是致命的。尽管在下一个十年物理学家会写出3000多篇论文，但对天文学家来说膨胀将仍是一个新鲜的事物。对他们来说，这些数据似乎是排除膨胀理论的。

有些天文学家私下里抱怨，说粒子物理学家被膨胀的美丽外衣所迷惑，甚至可以不管实验数据。（哈佛大学的天文学家罗伯特·P．基尔希纳〔Robert P．Kirshner〕写道："膨胀理论被学院里牢固占据教授职位的人所称赞，但这个事实并不能自然而然地说明它是对的。"牛津大学的罗杰·彭罗斯〔Roger Penrose〕将膨胀理论叫做："高能物理学家了解宇

宙的一种时髦方式……甚至土豚也认为它的后代是美丽的。”）

古思相信：迟早有数据会说明宇宙是平的。但是使他烦恼的是他的原始的描述有一个小的，但至关重要的缺陷，直到今天还不能完全理解。膨胀在理论上可以用来解释一系列深层的宇宙问题。但问题是他不知道怎样关闭膨胀。

想象一壶水加热到它的沸点。就在水开之前，它是瞬时处在高能状态。它要沸腾，但它还不能沸腾，因为需要一些杂质产生气泡。但是一旦气泡产生了，它很快进入真真空的低能状态，这壶水变得充满了气泡。最终，气泡变得很大，开始结合，直到壶里均匀地充满蒸汽。当所有的气泡合并，从水到蒸汽的相变就完成了。

在古思的原始描述中，每一个气泡代表一片从真空中膨胀出来的我们的宇宙。但是当古思进行计算时，他发现气泡不能适当地结合，使宇宙成为难以相信的多块状的。换句话说，他的理论让壶里充满了蒸汽气泡，却不能完全合并成为一壶均匀的蒸汽。古思的一大桶开水似乎永远不能安定下来，变成今天的宇宙。

1981年，俄罗斯P．N．列别杰夫（P．N．Lebedev）研究所的安德烈·林德（Andre Linde）和宾夕法尼亚大学的保罗·J．斯坦哈特（Paul J．Steinhardt）、安德烈亚斯·阿尔布雷克特（Andreas Albrecht）发现一个解决这个难题的方法。他们认识到，如果假真空的一个气泡膨胀的时间足够长，它就会最终充满整个壶，并产生一个均匀的宇宙。换句话说，我们的整个世界可以是一个单个气泡的副产品，它膨胀充满宇宙。为了产生均匀的一壶蒸汽不需要大量气泡结合，只要一个气泡就行了，只要它膨胀的时间足够长的话。

再回想一下大坝和假真空的类比。大坝越厚，水就需要越长的时间穿过大坝。如果大坝的墙非常厚，那么穿过的时间就会任意地延长。如果宇宙可以膨胀10^{50}倍，那么一个单个的气泡就有足够的时间解决地平线、平坦宇宙和磁单极子的问题。换句话说，如果穿过大坝的时间延长得足够长，宇宙膨胀的时间足够长，就能使宇宙变平和稀释磁单极子。但是仍然留有问题：是什么机制能够延长如此巨大的膨胀呢？

最终，这个棘手的问题成为已知的“见好就收的问题”，即怎样让宇宙膨胀得足够长，使得一个单一的气泡能够创造整个宇宙。到目前至少提出了50个不同的机制来解决这个适当的退出问题。（这是一个令人迷惑的、困难的问题。我自己也试了几个解决方案来解决这个问题。要想在早期的宇宙中产生适度的膨胀是相当容易的。但是要让宇宙膨胀的倍数大到10^{50}是极其困难的。当然，我们也许能够简单地放上一个10^{50}系数，但这是人造的和人为的。）换句话说，人们广泛地相信膨胀过程解决了磁单极子、地平线和平坦性问题，但是不能精确地知道是什么驱动膨胀和怎样将它关闭。



混沌膨胀理论和平行宇宙

物理学家安德烈·林德（Andre Linde）对无人同意有关见好就收的解决方案并不感到忧虑。林德（Linde）承认："我只是有这样的感觉，对上帝来说这是一个简化他的工作的绝好机会。"

最后，林德（Linde）提出一个新版的膨胀理论，它似乎消除了老版本的一些缺陷。他想象一个宇宙，在随机的空间和时间点上自发地发生破裂，一个短暂膨胀的宇宙产生了。大多数膨胀的时间很短。但是因为这个过程是随机的，最终将有一个气泡膨胀的时间持续得很长，创造了我们的宇宙。它的逻辑结论是：膨胀是持续的和永恒的，大爆炸始终在发生，一些宇宙从其他宇宙"萌生"出来。在这个图景中，宇宙可以萌芽产生其他宇宙，创建"多元宇宙"。

在这个理论中，自发性破缺可以在我们的宇宙内任何地方发生，从我们的宇宙萌发一个完整的宇宙。它也意味着我们的宇宙也许是从早先的宇宙萌发的。在混沌膨胀模式中，多元宇宙是永恒的，即使单个的宇宙不是这样。有些宇宙可能有非常大的欧米伽值，大爆炸后就立即挤压破碎。有些宇宙的欧米伽值可能很小，将永远膨胀。最终，多元宇宙被那些巨量膨胀的宇宙所支配。

回顾宇宙学的历程，我们不得不接受平行宇宙的想法。膨胀理论代表传统宇宙学与粒子物理学进展的汇合。粒子物理学遵循量子理论，它规定有一个有限的可能性使不太可能的事件发生。因此，只要我们承认有可能创造一个宇宙，我们就打开了有可能创造无限多个平行宇宙的大门。例如，想一想在量子理论中是怎样描述电子的。因为不确定性，电子不是存在于任何单一的地点，而是存在于围绕原子核的所有可能的地点。围绕原子核的电子云代表电子可以同时位于很多地方。这是所有化学基础的基础，它允许电子将分子捆绑在一起。分子为什么不散开的原因是：平行的电子围绕它们跳跃并将它们捆绑在一起。同样，宇宙曾经比一个电子还小。当我们将量子理论应用于宇宙时，我们被迫承认宇宙有同时存在于很多状态的可能性。换句话说，一旦我们打开了将量子波动应用到宇宙的大门，我们就几乎被迫地承认平行宇宙。我们没有更多的选择。



宇宙从无到有

起初，人们也许会反对多元宇宙的观念，因为它似乎违背了已知的定律，如物质和能量守恒定律。然而，一个宇宙的物质和能量的含量实际上可以是很小的。宇宙的物质含量，包括所有恒星、行星和星系，是巨大的和正的。然而，引力储藏的能量可以是负的。如果将由于物质产生的正能量和由于引力产生的负能量加在一起，总和可能接近于零！在某种意义上，这样的宇宙是自由的。它们可以毫不费力地从真空中突然冒出来。（如果宇宙是封闭的，宇宙的总能量含量必须精确地等于零。）

（要领会这一点，想象一头驴掉进地面的一个大坑里。为了把驴从坑中拉出来必须增加能量。一旦驴被拉出来又站在地面上后，驴的能量被认为是零。因为需要增加驴的能量使它回到能量为零的状态，所以驴在坑中时能量为负。类似地，需要增加能量使一颗行星脱离太阳系。一旦它到了自由空间，行星的能量为零。因为需要增加能量将行星拽出太阳系使它进入能量为零的状态，当行星在太阳系范围内时，它的引力能为负。）

事实上，要创造像我们这样的一个宇宙，也许只需要非常小的净物质量，也许小到1盎司（28.3495克）。正如古思喜欢说的：“宇宙可以是一顿免费的午餐。”纽约城市大学亨特学院的物理学家爱德华·特赖恩（Edward Tryon）在1973年的《自然》杂志上发表了一篇文章，首先提出了宇宙从无创造的思想。他推测宇宙是由于真空中的量子波动“偶尔”产生的。（尽管创造宇宙所需要的净物质量可以接近零，这个物质必须压缩到难以想象的密度，正如在第12章将看到的。）

像盘古开天的神话一样，这是宇宙从无到有的一个例子。尽管宇宙从无到有的理论无法用常规的方法证明，它确实能帮助我们回答有关宇宙的很多实际问题。例如，为什么宇宙不旋转？我们周围的一切都在旋转，从陀螺、飓风、行星、星系到类星体。它看上去是宇宙中物质的普遍特性。但是宇宙本身不旋转。当我们观察天空的星系时，它们的旋转相互抵消，总体为零。（这是非常幸运的，在第5章将会看到，如果宇宙的确旋转的话，时间旅行就会成为一个共同的问题，历史就不可能书写。）为什么宇宙不旋转的原因也许是因为我们的宇宙是从无到有产生的。因为真空不旋转，所以在我们的宇宙中就看不到任何净旋转。事实上，多元宇宙内的所有气泡宇宙（bubble-universes）可能净旋转都为零。

为什么正电荷和负电荷精确地相互抵消呢？通常。当我们思考支配

宇宙万物的宇宙力时，我们想得更多的是引力而不是电磁力，尽管与电磁力相比引力是一个无限小的量。原因是正电荷和负电荷完全平衡了。结果宇宙的电荷看上去为零，是引力而不是电磁力支配宇宙。

尽管我们认为这是理所当然的，但是正电荷和负电荷的抵消是十分不寻常的，并且已经得到实验检验，精确到10^{21}分之一。（当然，电荷之间的局部不平衡是存在的，这就是为什么我们总会看到闪电。但是即便是雷电，电荷的总数加起来也为零。）如果你身体内净正电荷和负电荷的差别仅为0.00001%，你就会立刻被撕成碎片，你身体的碎片就会被电场力作用抛到外层空间。

对这个持久的谜题般的回答也许是因为宇宙是从无到有产生的。因为真空没有净旋转和净电荷，从无到有产生的婴儿宇宙也没有净旋转和净电荷。

物质和反物质是这个规则的一个明显的例外[5]。这个例外是为什么宇宙是由物质组成的，而不是由反物质组成的？因为物质和反物质是相反的（反物质与物质的负荷正好相反），我们可以假定：大爆炸一定产生了同样数量的物质和反物质。然而问题是，物质和反物质在接触时彼此湮灭产生伽马射线爆发。这样我们就不可能存在了。宇宙就会是伽马射线的随机集合，而不是充满普通的物质了。如果大爆炸是完全对称的（或如果它能从无产生），那么就会形成同样数量的物质和反物质。这样为什么我们能存在呢？俄罗斯物理学家安德烈·萨哈罗夫（Andrei Sakharov）提出的解答是：大爆炸根本不是完全对称的，在创世之初，在物质和反物质之间有小量的对称性破缺，物质相对反物质占优势，才使得我们今天所看到的宇宙成为可能。（在大爆炸时被破坏的对称性叫做CP〔电荷对称宇称运算乘积〕对称性，此对称性逆转了物质和反物质粒子的负荷和奇偶性。）如果宇宙是从“无”中产生的，大概“无”不是完全空的，而是有少量的对称性破缺（symmetry breaking），使得今天物质比反物质占有一些优势。这个对称性破缺的起源还没有找到。



其他宇宙会是什么样子？

多元宇宙的想法很有吸引力，因为所有要做的假定是自发性破缺随机发生。不需要再做其他的假设。每当一个宇宙萌发出另一个宇宙时，物理常数与原来的不同，创造出新的物理定律。如果这是真的，在每个宇宙之内可以出现完全新的现实。于是出现了一个诱人的问题：这些其他的宇宙是什么样子呢？理解平行宇宙物理学的关键是要理解宇宙是怎样产生的，即精确地理解自发性破缺是怎样发生的。

当宇宙诞生并且自发性破缺发生时，它也破坏了原始理论的“对称性”。对一位物理学家来说，“完美”意味着对称和简单。如果一个理论是完美的，这意味着它有强大的对称性，能够以最紧凑和经济的方式解释大量的数据。更精确地说，当我们在一个方程中交换它的成分时，如果该方程保持相同，这个方程就被认为是完美的。找出自然界隐藏的对称性的一个最大益处是：我们可以指出表面上看上去完全不同的现象实际上是同一件事物的不同表现，它们通过对称性连接在一起。例如，电和磁实际上是同一物体的两个方面，因为有对称性，所以它们可以在麦克斯韦方程中相互交换。同样地，爱因斯坦指出相对论可以将空间变成时间和将时间变成空间，说明它们是空间时间结构这同一事物的两个部分。

想象一片有着无穷魅力的六重对称性的雪花。它的美丽来源于将它旋转60度它仍然保持相同。这也意味着，我们描述雪花的任何方程也应当反映这个事实，在旋转多个60度时它保持不变。在数学上，我们说雪花有C_6对称性。

对称性将自然界隐藏的美丽编成密码。但是在现实中，今天这些对称性被可怕地破坏了。宇宙中四种主要的力彼此根本互不相像。宇宙充满了不规则和缺陷，包围我们的是原始宇宙的片段和碎片，原始对称性被大爆炸破坏了。因此，理解可能的平行宇宙的关键是理解“对称性破缺”，即在大爆炸后对称性是怎样破坏的。正如物理学家戴维·格罗斯（David Gross）说的：“自然界的秘密是对称，但是世界结构的很多方面是由于对称性破缺机制决定的。”

想象一个美丽的镜子破碎成几千块碎片。原来的镜子具有很好的对称性，无论镜子转任何角度它都以同样方式反射光；但它破碎后，原始的对称性被破坏了。精确地确定对称性是怎样破坏的，决定了镜子是怎样粉碎的。



对称性破缺

为了了解对称性破缺，想象一个胚胎的成长。在早期阶段，在怀孕后几天，胚胎由完整的细胞球构成。每个细胞与别的细胞没有什么不同。无论怎么转，看起来都是一样的。物理学家说，这一阶段的胚胎有O（3）对称性，即无论沿什么轴旋转都是相同的。

尽管胚胎是美丽的和优雅的，但它没有什么用处。一个完善的胚胎球不能执行任何功能或与环境相互感应。然而，过了一段时间胚胎的对称性破坏了，长出一个小头和一个像保龄球腿的螺旋形柱。尽管原来的球形对称现在破坏了，胚胎仍然有残余的对称性，如果沿着它的轴转动它，它仍然是相同的。这样，它就具有了圆柱对称性。数学上，我们说原来的球形O（3）对称性变为圆柱体的O（2）对称性。

然而，O（3）对称性的破坏可以以不同的方式进行。例如海星没有圆柱对称性或双侧对称性，当球形对称破坏时，它有C_5对称性（即旋转72度保持相同），使它具有五角星的形状。因此，O（3）对称性破缺的方式决定了生物体诞生的形状。

类似地，科学家相信宇宙开始时是处于完全对称的状态，所有的力统一成单一的力。宇宙是完美的、对称的，但也是没有用的。我们所知的生命不可能生存在这种完美的状态下。为了使生命有可能存在，宇宙在冷却时它的对称性不得不破坏。



对称性和标准模型

同样，要想理解平行宇宙会是什么样子，我们必须首先了解强核力、弱核力和电磁力相互作用的对称性。例如强核力依赖于3个夸克，科学家将它们标上假想的“颜色”（例如，红、白、蓝）。交换这3种颜色的夸克，如果方程保持不变，我们说这个方程有SU（3）对称性，即重新组合这3个夸克，方程保持相同。科学家相信，有SU（3）对称性的方程能最精确描述强相互作用（叫做量子色动力学）。如果我们有巨大的超级计算机，仅仅从夸克的质量和它们相互作用的强度出发，就能在理论上计算质子和中子的所有性质，以及核物理学的所有特性。

类似地，我们看电子和中微子这两个轻子的情况。如果在方程中交换它们，方程保持不变，我们说该方程有SU（2）对称性。再看光的情况，它有U（1）对称性。（这个对称组合将光的各个分量或偏振重新组合。）因此，弱核力和电磁力相互作用的对称组合为SU（2）×U（1）。

如果将这三个理论简单地黏合在一起，就会毫不奇怪地有SU（3）×SU（2）×U（1）对称性。换句话说，即它是分别混合3个夸克和混合2个轻子（但夸克和轻子不相互混合）的对称性。得出的理论是标准模型理论，正如前面我们看到的，它大概是所有年代中最成功的理论。正如密歇根大学的戈登·凯恩（Gordon Kane）所说：“我们世界发生的一切（除去引力的影响）都是从标准模型粒子相互作用产生的……”标准模型理论的某些预计已在实验室进行了测试，证明是成立的，精度在一亿分之一。（事实上，总共20个诺贝尔奖授予了研究标准模型各个部分的物理学家。）

最后，人们也许能够构造一个将强力、弱力和电磁力相互作用联合在一起的单一的对称性理论。最简单的大统一理论（GUT）能够做到这一点，它能同时彼此交换所有5个粒子（3个夸克和2个轻子）。与标准模型的对称性不同，大统一理论（GUT）对称性能将夸克和轻子混合在一起（这意味着质子可以衰退成电子）。换句话说，GUT理论包含SU（5）对称性（组合所有5个粒子，即3个夸克和2个轻子）。很多年来，人们也分析了很多其他的对称组合，但是SU（5）大概是能够拟合数据的最小组合。

当自发性破缺发生时，原来的大统一理论（GUT）对称性可以以各种方式破坏。一种方式是，大统一理论（GUT）对称性破缺成SU（3）×SU（2）×U（1），正好需要19个自由参数描述我们的世界，产生我们已知的世界。然而，GUT对称性的破缺可以有很多方式。其他的宇宙

很可能有完全不同的残余对称性。最低限度，这些平行宇宙可能会有不同数值的这19个参数。换句话说，在不同的宇宙中各种力的强度可能是不同的，使宇宙的结构产生巨大的变化。例如，核力强度减弱将阻止恒星的形成，使宇宙留在永久的黑暗中，让生命不可能存在。如果核力太强，恒星燃烧它的核燃料就会太快，没有足够的时间形成生命。

对称性组合也可能改变，产生完全不同的宇宙粒子。在这些宇宙中质子可能是不稳定的，并会迅速衰变成反电子。这样的宇宙不可能有我们所知道的生命，但会迅速地分解成没有生命的电子和中微子的薄雾。其他的宇宙还可以以另外的方式破坏GUT的对称性，产生更稳定的粒子，如质子。在这样的宇宙中，可能存在大量奇怪的新的化学元素。在这些宇宙中的生命比我们要更复杂，因为有更多的化学元素可能创造类似DNA的化学物质。

原始的大统一理论（GUT）对称性也可以以另一种方式破坏，产生多于一个的U（1）对称性，即多于一种形式的光线。这的确将是一个奇怪的宇宙，在这个宇宙中，生物不只是用一种类型的力，而是用几种类型的力来观察。在这样的宇宙中，生物可能有各种接收器检测各种形式的类似于光的辐射。

毫不奇怪，可能有几百种，甚至无限多种方式破坏这些对称性。每一种可能的解决方案会产生相应的完全不同的宇宙。



可验证的预测

不幸的是，在目前多元宇宙理论中，有着不同物理定律的多个宇宙存在的可能性无法检测。人们不得不跑得比光还要快才能到达其他的宇宙。但是膨胀理论的一个优势是，它预计了我们宇宙的性质，这个宇宙是可以检测的。

膨胀理论是一个量子理论，它基于量子理论的奠基石——海森堡测不准原理。（测不准原理说，不可能无限精确地测量电子的速度和位置。不管仪器多么灵敏，测量中总有不确定性。如果知道电子的速度，就不能知道它的精确位置；如果知道它的位置，就不能知道它的精确速度。）

将测不准原理应用到开始大爆炸的原始火球，这意味着原始的宇宙爆炸不可能是无限“光滑的”。（如果它是完全均匀的，那么我们就能精确知道从大爆炸发出的亚原子粒子的轨迹，这就违背了测不准原理。）量子理论让我们能够计算在原始火球中这些涟波或波动的大小。如果我们再膨胀这些微小的量子波动，就可以计算我们看到的大爆炸后380000年的微波背景辐射。（如果我们将这些波动膨胀到今天，就应该发现星系群的当前分布。我们的星系应该包含在这些微小波动的一个波动中。）

开始时，科学家从表面上查看从COBE卫星得到的数据，没有发现微波背景辐射的偏离或波动。这在物理学家中间引起一些忧虑，因为完全光滑的微波背景辐射不仅背离膨胀理论，也背离整个量子理论，背离测不准原理。它将动摇物理学最核心的内容。20世纪量子理论的整个基础也许不得不抛弃。

经过艰苦细致的分析后科学家才松了一口气，从计算机增强的COBE卫星数据中找到了模糊的波动，温度的变化为十万分之一，这是量子理论能容忍的最小的偏离量。这些无穷小的波动是与膨胀理论一致的。古思承认：“我完全被宇宙背景辐射迷住了。信号是如此之弱，在1965年以前一直没有检测到，现在背景辐射波动的测量精度竟达到十万分之一。”

尽管收集到的实验证据慢慢地支持膨胀理论，但科学家仍然不得不解决恼人的欧米伽值问题，即事实上欧米伽值为0.3，而不是1.0。



超新星——回到拉姆达

最后得出膨胀理论与科学家搜集的COBE卫星数据是一致的，但是在20世纪90年代，天文学家仍在抱怨膨胀理论得出的欧米伽值明显背离实验数据。第一次高潮是在1998年，它是从完全意外的方向得到的数据引起的。天文学家试图重新计算在遥远的过去宇宙的膨胀速率。他们不是分析哈勃在20世纪20年代分析的造父变星，而是考察过去的几十亿光年的遥远星系中的超新星。他们特别考察了Ia型超新星，它理想地适合用做标准烛光。

天文学家知道这种类型的超新星几乎有同样的亮度。（Ia型超新星的亮度被知道得非常清楚，甚至它们的亮度的微小偏离也能标定：超新星越亮，亮度的衰退越慢。）这样的超新星是在双星系统中的白矮星慢慢吸收它的伴星的质量中产生的。这颗白矮星吸收它的伴星的质量，逐渐达到太阳质量的1.4倍，这是白矮星能够达到的最大质量。当它们超过这个极限时就会坍塌和爆炸形成Ia型超新星。这个触发点就是Ia型超新星的亮度为什么非常均匀的原因，它是白矮星达到精确质量后在引力作用下坍塌的自然结果。（正如苏布拉马尼扬·钱德拉塞卡尔〔Subrahmanyan Chandrasekhar〕在1935年指出的，在白矮星中使这颗恒星破碎的引力和电子之间的叫做“电子简并压力”（electron degeneracy pressure）的排斥力相平衡。如果白矮星的重量超过太阳质量的1.4倍[6]，那么引力超过电子简并压力，恒星被压碎形成超新星。）因为遥远的超新星是在早期宇宙发生的，分析它们就能计算几十亿年前宇宙的膨胀速率。

两个独立的天文学家小组（以超新星宇宙项目的索尔·珀尔马特〔Saul Perlmutter〕和高红移超新星搜索小组的布赖恩·P．施密特〔Brian P．Schmidt〕为首）希望发现：宇宙尽管仍在膨胀，但是在逐渐减慢。对于几代天文学家，这是一种信念，每天在天文学的课堂上都是这样教的，即原始的膨胀在逐渐减慢。

在分析了十几个超新星之后，他们发现早期宇宙的膨胀不是像原来想象的那么快（即超新星的红移和它们的速度比原来想象的小）。比较早期宇宙与现在宇宙的膨胀率，他们得出结论：今天的膨胀率比较大。使他们吃惊的是，这两组得出同样令人惊骇的结论，即宇宙膨胀在加速，以指数形式在加速膨胀。

令他们灰心的是，他们发现无论用任何欧米伽值（Ω）都不能拟合数据。拟合数据的唯一办法是在理论中重新引入拉姆达值（Λ），即爱因斯坦首先引入的真空能。此外，他们发现在宇宙以德西特尔（de

Sitter）类型的指数方式加速膨胀中，拉姆达（Λ）的数值要大大超过欧米伽值。两组独立地得出这个令人吃惊的事实，但是犹豫不决地没有立刻发表他们的发现，因为强烈的历史偏见认为拉姆达值为零。正如基特山（Kitt's Peak）天文台的乔治·雅各比（George Jacoby）所说："拉姆达值始终是一个公认的概念，谁要说它不等于零，就会被认为是疯了，是胡言乱语。"

施密特（Schmidt）回忆道："我仍然在摇头，但是我们校核了一切……我是非常勉强地告诉人们这个结果的，因为我相信我们将会遭到谴责。"然而，当两个小组在1998年同时公布他们的结果时，他们收集到的堆积如山的数据难以被驳倒。拉姆达值，在现代天文学中几乎被完全遗忘的爱因斯坦的这个"最大的错误"，在藏匿了90年后现在又令人注目地再度走红。

物理学家哑口无言。普林斯顿大学高等学术研究所的爱德华·威滕（Edward Witten）说："它是自我从事物理学研究以来最奇怪的实验发现。"当欧米伽值0.3加上拉姆达值0.7时，总和等于膨胀理论预计值1.0（在实验误差范围内）。像一块七巧板在我们的眼前拼凑在一起，宇宙学家看到了丢失的膨胀部分，它来自真空本身。

WMAP卫星惊人地重新证实了这个结果，它证明和拉姆达值有关的能量，或暗能量，占宇宙所有物质和能量的73%，成为七巧板主要的一块。



宇宙的相

WMAP卫星的最重要贡献，大概是它使科学家相信他们正朝着宇宙的“标准模型”前进。尽管还存在巨大的差距，天体物理学家开始看到从这些数据得出的标准理论的轮廓。根据现在拼凑在一起的图片，当宇宙冷却时宇宙的演变经过了截然不同的相变。从一个相过渡到另一个相代表一个对称性破缺和自然力的分解。今天我们知道宇宙演变经过以下阶段和里程碑：

1．10^{-43}秒前——普朗克时期

在这个时期几乎什么都没有，它叫做“普朗克时期”。在这个时期，能量达10^{20}亿电子伏特，引力和其他量子力一样强。结果，宇宙的四种力或许统一成一个单一的“超力”。宇宙大概存在于一个“虚无”的完美的状态，或真空的高维空间中。神秘的对称性将所有四种力混合，使方程保持相同，此对称性为“超对称性”（关于超对称性的讨论见第7章）。由于不知道什么原因，这个统一所有四种力的神秘的对称性破缺了，形成了一个小气泡，即我们的胚胎宇宙。这也许是随机的量子波动的结果。这个气泡的尺寸为“普朗克长度”，即10^{-33}厘米。

2．10^{-43}秒——大统一理论（GUT）时期

对称性破缺发生，使气泡快速膨胀。当气泡膨胀时，四种基本力彼此迅速分开。引力是第一个从其他三种力中分出去的，在整个宇宙中释放出冲击波。超力的原始对称性破缺为较小的对称性，也许包含GUT对称性SU（5）。剩余的强核力、弱核力和电磁力相互作用仍然被这个大统一理论（GUT）对称性统一在一起。在这个阶段宇宙以10^{50}的巨大系数迅速膨胀，由于不能理解的原因，空间的膨胀速度比光速还要快。温度为10^{32}度（K）。

3．10^{-34}秒——膨胀结束

温度降到10^{27}度（K），这时强核力与其他两种力分离。（GUT对称性降到SU（3）×SU（2）×U（1）。）膨胀期结束，宇宙进入滑行式的标准弗里德曼扩充期。宇宙由无拘束的夸克、胶子和轻子的热等离子体“汤”组成。自由的夸克浓缩成今天的质子和中子。我们的宇宙仍然很小，只有目前太阳系的大小。物质和反物质互相湮灭，物质微微超过反物质（十亿分之一），超过的量形成我们今天看到的周围物质。（这个能量范围是我们希望在今后几年由粒子加速器，即大型强子对撞机能

够复制出的能量范围。）

4．3分钟——核子形成

温度降到足够低，核子形成而不会由于强烈的高温而撕开。氢熔合成氦（产生今天我们看到的75%的氢和25%的氦的比例）。微量元素锂形成，但是更高位元素的熔合停止，因为有5个粒子的核子太不稳定。宇宙是模糊一片，光一产生就被吸收。这标志着原始火球结束。

5．380000年——原子诞生

温度降到3000度（K）。电子固定在核的周围，不被高温撕开，原子形成。这时光子可以自由传播而不被吸收。这就是COBE和WMAP卫星测量到的辐射。曾经是模糊一片充满等离子体的宇宙现在变得透明。天空不再是白的，变成黑的。

6．10亿年——恒星浓缩

温度降到18度（K）。类星体、星系和银河系星团开始浓缩，大部分是原始火球微小量子波动的副产品。恒星开始“烹调”轻元素，如碳、氧和氮。爆炸的恒星将铁以后的重元素喷向天空。这是哈勃空间望远镜能够探测到的最远的时期。

7．65亿年——德西特尔膨胀

弗里德曼扩张逐渐结束，宇宙开始加速膨胀，进入叫做德西特尔（de　Sitter）膨胀的加速阶段，它是被神秘的还不能理解的反引力驱动的。

8．137亿年——今天

现在。温度降到2.7度（K）。我们看到当前的由星系、恒星和行星构成的宇宙。宇宙在继续以一种四散开来的模式加速膨胀。



将来

尽管膨胀理论今天有能力解释广泛的有关宇宙的秘密，但是还不能证明它是正确的。（此外，在第7章我们将看到，近来也提出了相反的理论。）超新星的结果要检查再检查，要考虑在超新星产生时的尘埃和异常现象等因素。大爆炸瞬间产生的“引力波”是“重要证据”，它将最终证实或驳斥膨胀理论。这些引力波像微波背景辐射一样仍然在宇宙中回荡，也许会被引力波探测器实际探测到，正如我们将在第9章看到的。膨胀理论做出了有关这些引力波性质的预计，这些引力波探测器应该能够发现它们。

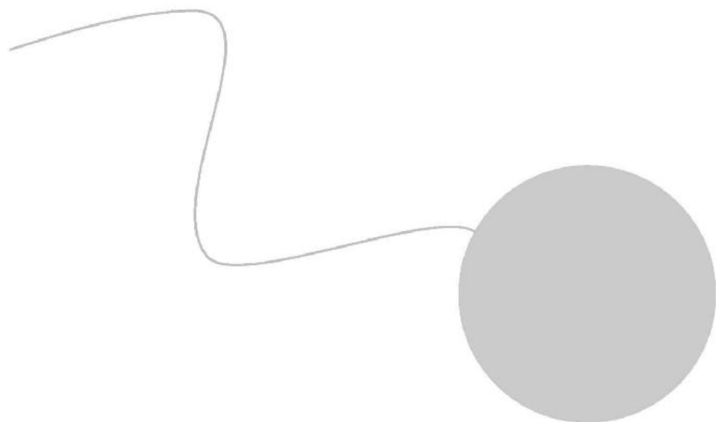
但是我们不能直接检验膨胀理论最引人入胜的预计之一，这就是在多元宇宙中存在“婴儿宇宙”，每个子宇宙的物理定律多少有些不同。要理解多元宇宙的意义，重要的是要首先理解膨胀理论充分利用了爱因斯坦方程和量子理论的奇异的结果。在爱因斯坦理论中，有多元宇宙存在的可能性，在量子理论中，有贯通多元宇宙的可能方法。在一个新的叫做“M理论”的框架内，我们可能找到最终能解决所有这些有关平行宇宙和时间旅行的问题。

PART TWO

THE MULTIVERSE

第二部分

多元宇宙



第5章　空间入口和时间旅行

在每个黑洞的内部发生的坍缩可能播下新的膨胀宇宙的种子。

——马丁·里斯爵士（Sir Martin Rees）

黑洞可能是通往其他宇宙的孔。根据推测，如果我们跳进一个黑洞，我们会重新出现在宇宙的不同部分和另一个新纪元中……黑洞可能是通往仙境的入口。但是有爱丽丝和白兔吗？

——卡尔·萨根（Carl Sagan）

广义相对论像一匹特洛伊木马。表面上这个理论很宏伟，只要几个简单的假定就能得到宇宙的一般特点，包括星光弯曲和大爆炸本身，所有这些都已进行测量，精度令人吃惊。如果在早期宇宙中人为插进一个宇宙常数，甚至膨胀问题也能得到解释。这些解答给我们有关宇宙诞生和死亡的最令人信服的预测。

但是我们发现各种魔鬼和妖精潜伏在木马的内部，包括黑洞、白洞、虫洞，甚至意义完全不同的时间机器。这些奇异之物被认为是这样地奇怪，甚至爱因斯坦本人都认为它们绝不能在自然界中找到。他奋战了很多年，想排除这些解答。今天，我们知道这些奇异之物不可能被轻易地排除。它们是广义相对论的一个完整部分。在面临大冻结时，它们甚至能提供解救智能生命的途径。

在这些奇异之物中，大概最奇怪的是平行宇宙的可能性和连接平行宇宙的通道。按照莎士比亚所做的比喻，整个世界是一个舞台，那么广义相对论允许有地板门存在的可能。然而，这些地板门不是引导我们进入地下室，而是进入和原来舞台一样的平行的舞台。想象生活的舞台是由多层舞台构成的，一个舞台在另一个舞台的头顶。在每个舞台上，演员念着他们的台词，在舞台上走来走去，以为他们的舞台是唯一的舞台，不知道还有其他舞台存在的可能性。然而，如果有一天一位演员落入地板门，他将发现他掉进了一个全新的舞台，在这个舞台上有新的法律、新的规则和新的剧本。

但是如果存在无限多个宇宙的话，在这些具有不同的物理规律的其他宇宙中，是不是可能存在有生命呢？这是艾萨克·阿西莫夫（Isaac Asimov）在他的经典科幻小说《诸神自身》（*The Gods Themselves*）中提出的问题。他创造了一个核力不同于我们宇宙的平行宇宙。当通常的物理定律被废除、新的定律被引进时，迷人的新的可能性出现了。

故事开始于2070年，一位名叫弗雷德里克·哈勒姆（Frederick Hallam）的科学家注意到：普通的钨186奇怪地转变为神秘的钚186，

它的质子太多，应该是不稳定的。哈勒姆（Hallam）认为这个奇怪的钚186来自一个平行宇宙，在这个宇宙中核力很强，克服了质子相互间的排斥。因为这个奇怪的钚186发出大量电子形式的能量，可以产生惊人的自由能。这就使他有可能制造出著名的哈勒姆电子泵（hallam electron pump），解决地球的能源危机，使他成为一个富人。但这需要付出代价。如果足量的外来钚186进入我们的宇宙，那么核力的强度通常会增加。这就意味着从熔合过程中将释放出更多的能量，太阳将更加明亮并最终爆炸，毁灭整个太阳系！

然而，平行宇宙中的外星人却有不同的看法，他们的宇宙正在死亡。在他们的宇宙中核力太强，这意味着他们的恒星以巨大的速率消耗氢，并将很快死亡。因此他们开始将没用的钚186发送到我们的宇宙以交换有价值的钨186，使他们能制造正电子泵，以拯救他们的正在死亡的宇宙。尽管他们认识到在我们的宇宙中核力的增强将使我们的恒星爆炸，但他们毫不在乎。

地球似乎在走向灾难。人类热衷于哈勒姆（Hallam）的自由能，不相信太阳将很快爆炸。另一位科学家对这个难题提出了一个有独创性的解决方案。他相信一定存在另一个平行宇宙。他成功地改造了一架强大的原子对撞机，在空间产生了一个将我们的宇宙和很多其他宇宙连接的洞。他搜寻这些宇宙，最终发现一个平行宇宙。这个宇宙只有一个含有无限能量的“宇宙蛋”，其余是空的，核力也很弱。

通过从这个宇宙蛋吸收能量，他能够创造一个新的能源泵，并同时减弱我们宇宙的核力，防止太阳爆炸。然而，这也要付出代价，这个新的平行宇宙的核力将增加，引起它爆炸。但是他分析这个爆炸将只是引起这个宇宙蛋“孵化”，产生一次新的大爆炸。他认识到他实际上成了新膨胀宇宙的助产士。

阿西莫夫（Asimov）的科幻小说是少数几个实际利用核物理的规律来编造一个贪婪、阴谋和拯救人类的故事。阿西莫夫正确地假定：在我们的宇宙中力强度的改变将会引起灾难，如果核力增强，我们宇宙中的恒星会变得更亮，然后爆炸。这就引起一个不可避免的问题：平行宇宙的理论与物理定律一致吗？如果是这样，要进入一个平行宇宙需要些什么呢？

要理解这些问题，我们必须首先理解虫洞、负能量，当然还有叫做黑洞的那些神秘物体的性质。



黑洞

1783年，英国天文学家约翰·米歇尔（John Michell）第一个想到：如果一颗恒星变得如此之大，以至光线也不能逃离，将会发生什么。我们知道任何物体有一个“逃逸速度”，即克服它的引力的速度。（例如，对于地球来说，逃逸速度是每小时25000英里〔40233.6千米〕，为了挣脱地球的引力，任何火箭必须达到这个速度。）

米歇尔（Michell）想：如果一颗恒星的质量变得非常大，以至它的逃逸速度等于光速会发生什么。如果引力是如此巨大，什么也跑不出去，连光也跑不出去，因此这个物体从外部世界看是黑的。因为它是看不见的，所以要想在空间中找到这样一个物体从某种意义来说是不可能的。

米歇尔（Michell）的“黑星”（dark stars）问题被遗忘了一个半世纪。但是在1916年它又重新浮上水面，一位在德国军队服务、在俄罗斯前线作战的德国物理学家，卡尔·史瓦西（Karl Schwarzschild）发现了爱因斯坦方程大质量恒星的精确解。爱因斯坦非常吃惊史瓦西（Schwarzschild）能够在枪林弹雨中找到他的复杂张量方程的解。他同样吃惊史瓦西的解有奇特的性质。

从远处看，史瓦西（Schwarzschild）的解代表一个普通恒星的引力，并且爱因斯坦很快地利用这个解计算围绕太阳的引力，校核他早期做的近似计算。为此他终身感谢史瓦西。但是史瓦西的第二篇文章指出：在一个质量非常大的恒星的外围有一个虚构的有着奇异特性的“魔球”。这个“魔球”是不可返回的极限点。任何一个经过“魔球”的人将立刻被引力吸到这颗星中，别人就再也见不到他了。甚至光线掉进这个球也不能逃离。史瓦西没有认识到：通过爱因斯坦方程，他重新发现了米歇尔（Michell）的黑星。

下一步，他计算了这个“魔球”的半径（叫做“史瓦西半径”〔Schwarzschild radius〕）。对于一个像我们太阳这样大小的物体，魔球半径大约3千米（大约2英里）。（对于地球，它的史瓦西半径大约1厘米。）这意味着如果我们能将太阳压缩到半径为2英里，它就会变成黑星，经过这个不能返回的极限点的任何物体都会被它吞噬掉。

实际上，魔球的存在不会引起问题，因为不可能将太阳压缩到半径2英里（3千米）的尺寸。还不知道有什么机制能产生这样奇异的星。但理论上，它是一个灾难。尽管爱因斯坦的广义相对论可以产生灿烂的结果，如星光绕太阳的弯曲，然而当离魔球距离很近时引力变得无限大，

该理论失去了意义。

一位荷兰物理学家约翰内斯·德罗斯特（Johannes Droste）指出，该解比人们能够想到的还要古怪。根据相对论，当光线跑过这个物体的周围时它将严重地弯曲。事实上，当光线经过距离这颗恒星1.5倍史瓦西半径的地方时，光线将环绕这颗恒星以圆形轨道运行。德罗斯特（Droste）指出，当光线环绕这些大质量恒星时，按广义相对论预计的时间扭曲比狭义相对论预计的要大得多。他指出：当你接近这个魔球时，远处的人会说你的钟变得越来越慢，当你碰到这个物体时你的钟完全停止。事实上，外界的人会说，当你到达这个魔球时你的时间冻结了。因为在魔球中时间会停止，因此有些物理学家相信这样奇异的物体在自然界不会存在。让事情变得更加有趣的是，数学家赫尔曼·外尔（Hermann Weyl）指出，如果我们研究魔球内部的世界，似乎在它的另一侧存在一个另外的宇宙。

所有这一切都是这么离奇，甚至爱因斯坦也不能相信它。1922年，在巴黎的一次会议上，数学家雅克·阿达马（Jacques Hadamard）问爱因斯坦：如果“奇点”（singularity）是真的，也就是说如果在史瓦西半径处引力变得无限大会发生什么事情。爱因斯坦回答道：“对于这个理论来说，它将是一个真正的灾难，事先很难说实际上它会不会发生，因为公式不再适用。”爱因斯坦后来将此叫做“阿达马灾难”。但是爱因斯坦认为所有这些关于黑星的辩论是纯粹推测的。首先，没有人看到过这样奇异的物体，也许它们不存在，也就是说它们是不现实的。此外，如果你掉进一颗黑星，你就会被挤扁压死。因为人们绝对不可能通过魔球（因为时间停止了），所以绝没有人能进入这个平行宇宙。

在20世纪20年代，这个问题使物理学家完全困惑。但是在1932年，大爆炸理论之父乔治·勒迈特（Georges Lemaître）做出了一个重要的突破。他指出：魔球根本不是一个奇点，在此所有的引力变得无穷大，这是由于选择了不合适的数学公式引起的幻觉。（如果选择不同的坐标或变量考察魔球，奇点就消失了。）

宇宙学家H．P．罗伯逊（H．P．Robertson）用这个结果重新考察德罗斯特（Droste）原来的在魔球中时间会停止的结果。他发现，仅当乘坐观察火箭船进入魔球的观察者从有利的位置进行观察时时间才停止。从火箭船本身的有利位置观察，引力只需要几分之一秒就会将你吸入魔球。换句话说，空间旅行者会非常不幸，当他通过魔球时他发现自己被立即挤扁压死，但是对从外界观察的观察者来说，这个过程似乎用了几千年。

这是一个重要的结果。它意味着魔球是可以达到的，不再是一个数学怪物而被排除。人们不得不认真考虑，如果从魔球中穿过会发生什么。于是物理学家计算穿过魔球的旅行会是什么样子。（今天魔球被称为“事件穹界”〔the event horizon〕。“穹界”指的是可以看到的最远点。此处指光线能够传播的最远点。事件穹界的半径叫做史瓦西半

径。）

当你乘火箭船接近黑洞时，你会看到在几十亿年前被黑洞捕捉的光线，回到黑洞开始产生的时候。换句话说，黑洞的生命史将展示在你面前。当你离得更近时，引力会逐渐将你身体的原子撕裂开，直到你身体的原子的核也被拉成意大利面条的样子。穿越事件穹界是一条不归之路，因为引力是如此强烈，你最终将被吸到黑洞的中心，被挤垮压碎。一旦到了事件穹界的内部，就再也没有机会返回。（要想离开事件穹界，除非你比光跑得还要快，但这是不可能的。）

1939年，爱因斯坦写了一篇文章想排除这种黑洞，他声称这些黑洞不能靠自然过程形成。爱因斯坦首先假定，恒星是从一个球形范围内旋转的尘埃、气体和碎片开始的，在引力作用下逐渐聚在一起。爱因斯坦然后指出，这些涡旋的粒子集绝不会坍缩到它的史瓦西半径范围内，因此绝不会成为黑洞。这些涡旋的粒子最多能够达到1.5倍史瓦西半径的地方，因此黑洞绝不会形成。（要进入低于1.5倍史瓦西半径，就要比光还要跑得快，这是不可能的。）他写道："该研究的基本结果是要清楚地理解为什么'史瓦西奇点'（Schwarzschild singularities）在物理现实中不会存在。"

亚瑟·爱丁顿（Arthur Eddington）也对黑洞持深深的保留意见，一生都在怀疑它们是不是存在。他曾经说："应该有一个自然定律防止恒星出现这种荒谬的方式。"

与此相反，在同一年，J．罗伯特·奥本海默（J．Robert Oppenheimer）（他后来制造了原子弹）和他的学生哈特兰·斯奈德（Hartland Snyder）指出：黑洞的确能够通过其他机制形成。他们不是假定黑洞来自涡旋的粒子在引力下聚集，他们的出发点是一颗老的、大质量的恒星，用完了它的核燃料，因此在引力作用下内向爆裂。例如，一颗正在死亡的质量为太阳40倍的巨星，可能耗尽了核燃料，被引力压缩到80英里（128.75千米）的史瓦西半径（Schwarzschildradius）范围内，最终瓦解形成黑洞。他们认为黑洞不仅是可能的，也许还是星系中几十亿颗正在死亡的巨星的自然终点。（奥本海默在1939年提出的这个向内爆裂的思想也许鼓舞了他在几年之后将内向爆裂的机制用在原子弹上。）



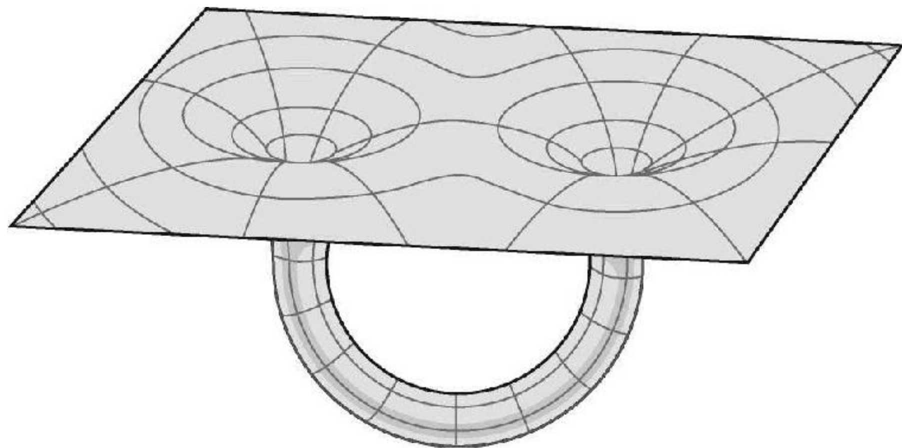
爱因斯坦-罗森桥

爱因斯坦认为黑洞太离奇了，不可能在自然界存在。而有人认为在黑洞的中心有虫洞存在的可能性就更让他反感。数学家将这些虫洞称为“多连通空间”。物理学家称它们为“虫洞”，因为它像钻到地里的一条虫，在两点之间钻出一条可供选择的捷径。有时也将它们叫做“空间入口或通道”。不管将它们叫做什么，也许有一天它们将成为星际间旅行的最后的途径。

第一个普及虫洞理论的人是查尔斯·道奇森（Charles Dodgson），他写作的笔名是刘易斯·卡罗尔（Lewis Carroll）。在《爱丽丝镜中奇遇》（*Through the Looking Glass*）一书中，他引进虫洞作为梳妆镜将牛津的乡村和仙境连接起来。作为一位职业数学家和牛津先生，道奇森（Dodgson）熟悉这些“多连通空间”。根据定义，多连通空间是一个不能缩减到一点的套索。通常，任何回路可以毫不费力地收缩到一点。但是如果我们分析一个油炸圈饼，那么就不可能将一个套索放在它的表面，使它环绕油炸圈饼的孔。当我们慢慢收缩套索时，它不可能收缩成一点，最多只能收缩到孔的周围。

数学家为这些事实而感到高兴，因为他们发现了一个完全不能用来描述空间的物体。但是，在1935年，爱因斯坦和他的学生内森·罗森（Nathan Rosen）把虫洞理论引进物理世界。他们试图用黑洞解作为基本粒子的模型。爱因斯坦一点也不喜欢在一个粒子附近引力变得无限大这个从牛顿时代就有的想法。爱因斯坦认为这个“奇点”应当去掉，因为它没有意义。

爱因斯坦和罗森（Rosen）有了一个新的想法，通常认为电子是一个小点没有任何结构，他们用黑洞代表一个电子。用这种方式，广义相对论可以用统一场论解释量子世界的秘密。他们从标准黑洞解出发，它像一个“长喉咙”的大花瓶。然后将喉咙切掉，把它和另一个翻转的黑洞解合并在一起。对爱因斯坦来说，这个奇怪的但是光滑的结构在黑洞原点没有奇异性，其行为像一个电子。



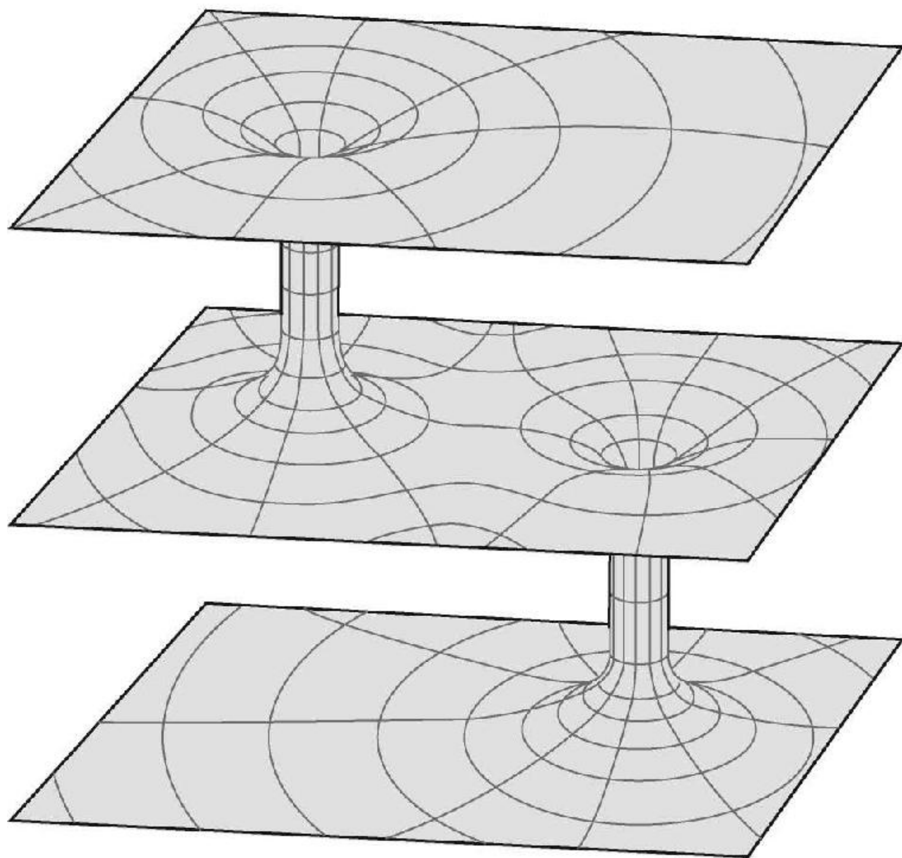


图8　爱因斯坦-罗森桥。在黑洞的中心有一个“喉咙”，它将空间时间连接到另一个宇宙或在我们宇宙的另一个点。穿过不旋转的黑洞将是毁灭性的，但是旋转的黑洞有一个环状的奇点，这样就有可能穿过这个环和通过爱因斯坦-罗森桥。这个“桥”仍然是推测的。

不幸的是，爱因斯坦用黑洞代表电子的想法失败了。但是今天，宇

宙学家推测爱因斯坦-罗森桥可以充当两个宇宙之间的桥梁。我们可以在我们的宇宙中自由地走来走去，直到有一天不巧掉进一个黑洞，我们会突然被吸到这个洞里，并穿过这个洞出现在另一侧（穿过一个白洞）。

对爱因斯坦来说，他的方程的任何解，如果是从实际上似乎合理的出发点得出的，都应当与实际可能的物体相适应。但是，爱因斯坦不担心有人掉进黑洞里，进入一个平行的宇宙。黑洞的中心引力变得无限大，任何人不幸地掉进黑洞里，他们身体的原子会被引力场撕开。（爱因斯坦-罗森桥确实会即刻打开，但是又很快关闭，没有物体能及时通过它到达另一侧。）爱因斯坦的态度是，尽管虫洞可能存在，但生物绝不能通过它，也不能活着讲述通过它的经过。



旋转的黑洞

然而，在1963年，这种情景开始改变，一位新西兰的数学家罗伊·克尔（Roy Kerr）发现了爱因斯坦方程的精确解，能够最真实地描述正在死亡的恒星，一个旋转的黑洞。因为角动量守恒，当一颗恒星在引力作用下坍塌时它转得更快。（这也是为什么旋转的星系看起来像一个不转动的车轮，为什么溜冰者当他将手臂抱起来时转得更快的原因。）一个转动的恒星可以坍塌成一个中子环，由于向外排斥的强烈的离心力被向内的引力所抵消而保持稳定。这样一个黑洞的令人吃惊的特点是，如果有人掉进克尔（Kerr）黑洞，他们不会被挤扁压碎；相反地，他们被吸到中心，然后通过爱因斯坦-罗森桥到达平行宇宙。当克尔发现这个解时，他惊喜地告诉他的同事："通过这个魔环，转眼之间你会到达一个半径和质量都是负的完全不同的宇宙！"

换句话说，爱丽丝（Alice）梳妆镜的镜框像克尔（Kerr）的旋转环。但是通过克尔环的路是一条不归之路。当你通过环绕克尔环周围的事件穹界时，引力不足以将你挤扁压死，但是它足以阻止你从事件穹界返回。（事实上，克尔黑洞有两个事件穹界。有人推测：为了返回，你可能需要第二个克尔环将平形宇宙与我们的宇宙以返回方式连接起来。）在某种意义上，克尔黑洞可以比做摩天大楼内的一部电梯。电梯代表爱因斯坦-罗森桥，它连接不同的楼层，每一楼层是不同的宇宙。事实上，摩天大楼里有无限个楼层，每一楼层都与别的楼层不同。但是这部电梯决不向下走，里面只有向上的按钮。每当你离开一个楼层就不能再返回，因为你已经通过了一个事件穹界。

关于克尔环是不是稳定的，物理学家持不同的意见。有些计算得出：当一个人试图通过这个环时，这个人存在的本身会使黑洞变得不稳定，并且通道会关闭。例如，当一束光线要通过克尔黑洞时它会得到极大的能量，因为当它向中心下落时和发生蓝色频移时它的频率和能量增加。当它接近穹界时它得到如此之多的能量，从而杀死任何想要通过爱因斯坦-罗森桥的人。它也会产生它自己的引力场，干涉原来的黑洞，或许毁掉通道。

换句话说，尽管有些物理学家相信克尔黑洞是所有黑洞中最现实的，的确能够连接平行宇宙，但是还不清楚进入这个桥是不是安全，门道是不是稳定。



观察黑洞

因为黑洞的性质太奇异，一直到20世纪90年代，人们还认为它们的存在是一个科幻。密歇根大学的天文学家道格拉斯·里奇斯通（Douglas Richstone）在1998年评论道：“10年前，如果你在一个星系的中心发现一个你认为是黑洞的物体，业界中有一半的人会认为你是一个小狂人。”自那以后，通过哈勃空间望远镜、钱德拉（Chandra）X射线望远镜（测量强大恒星和银河系源发出的X射线）和巨型阵列射电望远镜（由一系列在新墨西哥的强大的射电望远镜组成），天文学家在外层空间鉴别出几百个黑洞。事实上，很多天文学家相信，天空中的大多数星系（在它们的盘形中心有中央凸起）在它们的中心有黑洞。

正如预计的，在天空中发现的所有黑洞旋转得非常快。哈勃空间望远镜对某些黑洞进行了计时，发现它们以每小时100万英里（160.93万千米）的速度在旋转。在最中心，我们看到一个扁平的圆形核，直径大约1光年。核内有事件穹界和黑洞本身。

因为黑洞是看不见的，天文学家不得不利用间接的方法验证它们的存在。在照片上，他们设法识别黑洞周围的旋涡气体的“吸积盘”。天文学家现已收集到这些吸积盘的美丽的照片。（这些盘几乎普遍地是在宇宙中快速旋转的物体中发现的。甚至我们的太阳在45亿年前形成时它的周围也有一个类似的盘，后来这个盘浓缩成行星。这些盘形成的原因是对于快速旋转的物体盘形代表最低能态。）利用牛顿运动定律，知道了绕中心物体旋转的恒星的速度，就能计算中心物体的质量。如果中心物体质量的逃逸速度等于光速，那么光线自身也不能逃逸，这就间接证明了黑洞的存在。

事件穹界位于吸积盘的中心。（不幸的是它太小了，用现代技术还无法鉴别。天文学家富尔维奥·梅利亚〔Fulvio　Melia〕声称：在底片上捕捉一个黑洞的事件穹界是黑洞科学的最高成就。）不是所有落入黑洞的气体都通过事件穹界。有些从事件穹界的旁边经过被喷射到空间，形成两个长的从黑洞北极和南极喷出的喷射气体。这使黑洞的外观像一个陀螺。（从南北极喷出的原因是：当坍塌恒星的磁场线变得更强烈时，磁场线集中在北极和南极。当恒星继续坍塌时，这些磁场线浓缩成从北极和南极放射的两个管。当离子落入坍塌的恒星时，它们沿着这两个狭窄的磁力线，通过磁场北极和南极喷射出去。）

已鉴别出两种类型的黑洞。第一种是恒星黑洞，在恒星黑洞中引力将把正在死亡的恒星压垮，直至发生内向爆裂。然而，第二种黑洞更容易察觉。这些是星系黑洞，它们潜伏在巨大星系和类星体的正中心，比

太阳质量大100万倍到几十亿倍。

近来，在我们自己的银河系中心最终找到一个黑洞。不幸的是，尘埃云遮住了银河的中心，要不是这个原因，在地球上每天晚上在人马座方向我们会看到一个巨大的火球。没有尘埃云，银河系中心的亮度会超过月亮，成为夜晚天空最明亮的天体。在这个星系核的最中心有一个黑洞，重量大约为太阳质量的250万倍。说到它的尺寸，大约是水星轨道半径（5800万千米）的十分之一。按照星系的标准，这不是特别大的黑洞。类星体的黑洞的重量可以是太阳质量的几十亿倍。我们后院的这个黑洞目前是相当稳定的。

下一个离我们最近的星系黑洞位于仙女座星系的中心，这是离地球最近的星系，黑洞质量为太阳的300万倍。它的史瓦西半径大约6000万英里（9656万千米）。（在仙女座星系的中心至少有两个大质量的物体，大概是几十亿年前被仙女座星系吞噬的以前的星系留下的。如果几十亿年后银河系最终与仙女座星系相撞，大概我们的星系将被吞噬到仙女座星系的“胃”里，这种情况看来有可能出现。）

星系黑洞最美丽的照片之一是哈勃空间望远镜拍摄的NGC4261星系的照片。在过去，这个星系的射电望远镜照片显示两个从星系北极和南极喷出的非常优美的喷射物，但是没有人知道它的机制是什么。哈勃空间望远镜拍摄了这个星系的最中心的照片，发现一个范围为400光年的美丽的盘。在它的最中心是一个包含吸积盘的小点，吸积盘的范围大约1光年。哈勃空间望远镜看不见的中心黑洞重量约为太阳质量的12亿倍。

像这样的星系黑洞是如此之强大，它们能够消耗掉整个恒星的能量。2004年，美国国家航空航天局（NASA）和欧洲航天局宣布：他们发现在遥远星系中的一个巨大黑洞一口吞掉了一颗恒星。钱德拉（Chandra）X射线望远镜和欧洲XMM-牛顿卫星（X射线多重镜面任务-牛顿号卫星）观察到同一个事件：RX J1242-11星系发出的X射线的爆发标志着一颗恒星被中心的巨大黑洞吞噬了。这个黑洞的重量估计为太阳质量的1亿倍，巨大的引力使这颗恒星扭曲和伸展，直至破裂发出X射线的爆发，向人们泄露它的秘密。德国加尔兴（Garching）的马克斯·普朗克（Max Planck）研究所的天文学家斯特凡尼·科莫萨（Stefanie Komossa）说：“这颗恒星被拉伸超出了它的破裂点。这颗不走运的恒星迷路了，走错了地方，跑到了这个黑洞的附近。”

黑洞的存在有助于解决很多古老的秘密。例如，星系M-87一直使天文学家感到奇怪，它看上去像一个大质量的星球，带一个奇怪的“尾巴”。因为它发出大量的辐射，天文学家曾经认为这个尾巴代表反物质流。但今天，天文学家发现它是由巨大黑洞提供能量的，这个黑洞的质量大约为太阳质量的30亿倍。现在相信这个奇怪的尾巴是一个巨大的等离子体喷射流，它是从这个星系流出的，而不是流进星系的。

有关黑洞最壮观的发现之一是钱德拉X射线望远镜的发现。它通过外层空间尘埃的间隙窥视天空，在可见宇宙的边缘附近观察到黑洞集。总共看到600个黑洞。天文学家通过外推，估计在整个夜晚天空至少有3亿个黑洞。



伽马射线爆发

上面提到的黑洞的年龄大约有几十亿年。但是天文学家现在很少有机会看到就在眼前形成的黑洞。有些黑洞大概是神秘的“伽马射线爆发”在宇宙中释放大量的能量。巨大的伽马射线爆发在释放能量方面仅次于大爆炸本身。

伽马射线爆发的发现有一段奇妙的历史，可以追溯到冷战年代。在20世纪60年代末，美国担心苏联或另一个国家也许会违背已有的条约，在地球的荒芜地区甚或在月球上秘密引爆核弹。因此，美国发射维拉（Vela）卫星专门侦察“核武器闪光”，或未经许可的核弹引爆。因为核武器闪光呈现截然不同的阶段，每阶段1微秒，每次核武器闪光发出典型的双重闪光，可以被卫星检测到。（维拉〔Vela〕卫星在20世纪70年代，在南非附近的爱德华王子岛的海面上捕获得两次这样的核武器闪光，当时以色列战舰在场，今天情报界仍在争论此事。）

但是使五角大楼惊奇的是，维拉（Vela）卫星检测到空间巨大核爆炸的信号。它是苏联利用未知的高级技术在深层空间秘密引爆氢弹吗？担心苏联在武器技术上超过美国，顶尖的科学家被召集到一起分析这些深层空间的扰动信号。

在苏联解体之后，没有必要再对这些数据保密，五角大楼将堆积如山的天文数据倾倒给天文界。几十年来首次揭示出完全新的天文现象，力量之大和范围之广都是空前的。天文学家很快认识到，这些伽马射线爆发的能量是巨大的，在几秒钟的时间释放出来的能量超过了我们的太阳在它的整个生命期间（大约100亿年）所发出的整个能量。但是爆发事件的发生是非常短暂的，一旦被维拉（Vela）卫星检测到，在地面望远镜对准它们的方向时，它们已经暗淡得太多，以至转眼之间什么也看不到了。（大多数爆发持续时间在1秒到10秒之间，最短的持续0.1秒，有些持续时间长达几分钟。）

今天，空间望远镜、计算机和快速反应小组改变了我们检测伽马射线爆发的能力。一天大约能检测到3次伽马射线爆发，检测由一系列复杂的事件构成。一旦卫星检测到伽马射线爆发发出的能量，天文学家就用计算机迅速标定出它的精确坐标，并将更多的望远镜和传感器瞄准它的精确方向。

从这些仪器得到的数据已揭示出真实的令人吃惊的结果。在这些伽马射线爆发的中心有一个物体，通常直径只有几十英里。换句话说，伽马射线爆发所产生的不可思议的宇宙能量是集中在城市大小，比如纽约

城这么大小的区域内。多年以来，这种事件主要是双星系统中的中子星碰撞产生的。根据这个理论，这些中子星的轨道渐渐下降，然后停止旋转，最终发生碰撞产生巨大的能量释放。这样的事件是极罕见的，但是宇宙是这样的大，并且因为这些爆发非常耀眼，所以一天能看到几次。

但是在2003年，科学家收集到的新证据说明这些伽马射线爆发是“超新星”造成的，它产生大质量的黑洞。通过迅速地将望远镜和卫星聚焦在伽马射线爆发的方向，科学家发现它们像一颗巨大的超新星。因为爆炸的恒星有强大的磁场，并从它的北极和南极喷发出辐射，所以看上去好像这颗超新星比它实际更要活跃。也就是说，因为只有在伽马射线爆发正好指向地球时才能看到它们，所以给我们的虚假印象是它们比实际更强大。

如果伽马射线爆发的确是黑洞在形成，那么下一代空间望远镜应该能够更详细地分析它们，也许能够回答某些有关空间和时间的深奥问题。特别是，如果黑洞能够使空间弯曲成一个蝴蝶脆饼，那它也能够让时间弯曲吗？



范斯托库姆的时间机器

爱因斯坦的理论将空间和时间连接成一个不可分割的整体。结果，任何连接空间中两个遥远距离点的虫洞也能够连接时间上两个相距很远的点。换句话说，爱因斯坦的理论提供了时间旅行的可能性。

几个世纪以来，时间概念本身在发生演变。对牛顿来说，时间像一支箭，一旦飞出去就绝不会改变路程，它将正确地和均匀地到达目标。后来爱因斯坦引进了弯曲空间的概念，这样时间就更像一条河，当它在宇宙间漫游时逐渐加快或减慢。但是爱因斯坦担心时间这条河也许有倒流的可能性。大概在时间这条河中也有旋涡和分岔。

1937年，W．J．范斯托库姆（W．J．Van　Stockum）发现了爱因斯坦方程的一个解，允许时间旅行，从而发现了时间倒流的可能性。他从一个无限的旋转的圆柱体开始。尽管构造一个无限的物体实际上是不可能的，他计算得出如果这个圆柱体以接近光的速度旋转，它就会带动时空结构与它一起转动，很像搅拌机的叶片带动糖蜜旋转一样。（这叫做“坐标系拖曳”，现在在旋转黑洞的详细照片中已实际看到它。）

任何勇敢的围绕圆柱体旅行的人会被带动，得到巨大的速度。事实上，从远处的观察者看，这个人的速度好像超过了光速。尽管范斯托库姆（Van　Stockum）本人那时没有认识到，围绕圆柱体旅行一圈实际上在时间上倒退到你出发的时间之前。如果你是今天中午出发的，那么在你回到出发点时的时间可能是昨天下午6点。圆柱体转得越快，在时间上就倒退得越多（唯一的限制是时间不能倒退到制造圆柱体之前）。

因为这个圆柱体像一根五朔节花柱，这就意味着每次你围绕这个柱子跑一圈，时间就倒退得越来越多。当然，因为圆柱体不可能无限长，所以也可以排除这个解。此外，如果这样的圆柱体能够造出来的话，由于它以接近光的速度旋转，圆柱体的离心力非常大，构成圆柱体的材料将飞散。



格德尔宇宙

1949年，伟大的数学逻辑学家库尔特·格德尔（Kurt Gödel）发现一个更奇怪的爱因斯坦方程的解。他假定：整个宇宙是旋转的。像范斯托库姆（Van Stockum）圆柱体一样，你被空间时间像糖蜜一样的黏性所带动。乘坐火箭船围绕格德尔（Gödel）宇宙旅行，你将回到起点，但是时间却向回倒退了。

在格德尔（Gödel）宇宙中，一个人原则上可以在宇宙中空间和时间的任意两点间旅行。他能看到在任何时期发生的每一个事件，不管是在过去多么久远的时候发生的。因为引力的影响，格德尔（Gödel）宇宙本身有坍塌的倾向。因此，旋转的离心力必须平衡这个引力。换句话说，宇宙必须旋转并超过一定速度。宇宙越大坍塌的倾向越大，宇宙就必须转得越快才能防止坍塌。

例如，对于像我们这样大小的宇宙，格德尔计算它必须每700亿年转一圈，时间旅行的最小半径是160亿光年。然而，要想让时间倒退，你必须以略低于光速的速度旅行。

格德尔十分清楚从他的解中可能产生的矛盾，即你有可能见到过去的你和有可能改变历史进程。他写道："坐在火箭船上沿着十分宽阔的跑道跑一圈，你有可能在这个世界上旅行到过去、现在和将来的任何地区，然后再回来，就好像有可能在其他的世界中旅行到空间遥远的地方。这种事情似乎是荒谬的。因为它使一个人能旅行到他最近的过去和他曾经住过的地方。在这里他会发现一位他过去的自己。现在你可以对这个人做某些按照他的记忆没有发生过的事情。"

爱因斯坦被他在普林斯顿大学高等学术研究所的朋友和邻居发现的解深深地扰乱了。他的回答是十分有启迪作用的：

> "在我看来，库尔特·格德尔（Kurt Gödel）的论文对广义相对论是一个重要的贡献，特别是对时间概念的分析。这里涉及的问题在我建立广义相对论时就困扰我了，我没能成功地澄清它……'较早较晚'的区别被放弃了，或者在宇宙意义上相距很远的点，以及有关因果连接方向的矛盾出现了……格德尔（Gödel）先生已经谈到这些问题……有趣的是应不应当考虑根据物理学基础排除这些结果。"

由于两方面的原因，爱因斯坦的回答是重要的。首先，他承认在他建立广义相对论时，时间旅行的可能性问题曾经困扰他。因为时间和空

间被处理成像一块能够弯曲和扭曲的橡皮，爱因斯坦担心空间时间结构会弯曲得太大，以至时间旅行也许可能。第二，他根据“物理学基础”排除了格德尔的解，即宇宙不是旋转的，而是膨胀的。

在爱因斯坦去世的时候，众所周知他的方程考虑到奇怪的现象（如时间旅行、虫洞）。但是没有人认真考虑这些问题，因为科学家认为这些现象在自然界是不能实现的。多数人的意见是这些解在真实世界中没有基础。如果你想通过黑洞进入平行宇宙，你将必死无疑。宇宙不旋转。你不能造出无限大的圆柱体，因此时间旅行是个纯学术问题。



索恩的时间机器

时间旅行问题冬眠了35年，直到1985年天文学家卡尔·萨根（Carl Sagan）写了一部名叫《接触未来》（*Contact*）的小说，他想开拓一条能让女主人公旅行到织女星的道路。这条道路应当是能往返的双向旅行的道路。沿着这条道路，女主人公能旅行到织女星，然后返回地球，这是黑洞类型的虫洞不能做到的。卡尔·萨根求助于物理学家基普·索恩（Kip Thorne），问他有什么办法。基普·索恩（Kip Thorne）因为发现了爱因斯坦方程的新解而震惊物理学界，这个解让时间旅行成为可能而没有从前那么多的问题。在1988年，索恩和他的同事迈克尔·莫里斯（Michael Morris）、乌尔维·尤尔特塞韦尔（Ulvi Yurtsever）一起指出：如果能够得到奇异形式的物质和能量，如“外来的负物质”和“负能量”，就能建造一架时间机器。物理学家开始时对这个新的解决方案感到怀疑，因为以前从没有人见过这种外来物质，并且负能量存在的量也极少。但是它代表了我们理解时间旅行的一个突破。

负物质和负能量的最大优点是它使得虫洞成为可穿过的，也就是说你能够通过它作往返旅行而不用担心事件穹界问题。事实上，索恩（Thorne）小组发现通过这样的时间机器进行旅行是相当舒适的，不像商业航线上的旅行那样紧张。

然而，一个问题是外来物质（或负物质）的性质是非常特别的。不像反物质（已知它是存在的，并且在地球引力场作用下它很可能下落到地面），负物质则向上升，也就是说因为它具有反引力，在地球引力作用下它向上升。它对普通物质和其他负物质是排斥的，而不是吸引的。这也意味着在自然界，即使它存在的话，也是很难找到的。在45亿年前地球开始形成的时候，地球上的任何负物质都漂流到深层空间。因此负物质可能漂浮在空间，远离任何行星。（负物质可能绝不会与经过的恒星或行星撞击，因为它被普通的物质所排斥。）

尽管负物质从未被见到过（很可能不存在），而负能量虽然极其稀少，但实际上是可能的。1933年，亨里克·卡西米尔（Henrik Casimir）指出：两块不带电的平行金属板能够产生负能量。通常认为两块不带电的金属板应保持固定不动。然而，卡西米尔（Casimir）指出，在这两块不带电的平行板之间有非常小的吸引力存在。1948年，有人实际测量了这个微小的力，说明负能量实际上是可能的。卡西米尔效应利用了真空的相当奇怪的特征。根据量子理论，真空的空间含有从虚无中跳进跳出的“虚拟粒子”。因为海森堡测不准原理允许偏离经典定律，所以偏离能量守恒是可能的，只要事件发生的时间非常短暂。例如，一个电子和负电子由于不确定性有一定的小概率无中生有，然后彼此湮灭。因为两块

平行板彼此靠得很近，所以这些虚拟粒子不容易在两块板之间出现。因此，在两块板外围的虚拟粒子比两块板之间的虚拟粒子要多，这就产生从外向内的作用力，将两块平行板轻轻推向一起。1996年史蒂文·拉莫雷奥克斯（Steven Lamoreaux）在洛斯阿拉莫斯（Los Alamos）国家实验室精确测量了这个效应。他测量的吸引力很小（等于蚂蚁重量的三万分之一）。板间距越小，吸引力越大。

这就是索恩梦想的时间机器运行的方式。一个高级的文明将从两块被极小的间隙分开的平行板开始。再重新加工将这两块平行板做成一个球，这个球有内壳和外壳。然后做两个这样的球，用一种办法在它们之间串联一个虫洞，一个在空间上连接两个球的通道。每个球封装一个虫洞的嘴。

正常情况下，两个球的时间脉搏是同步的。但是现在我们将一个球放入一艘火箭船，它以接近光的速度发射出去，对火箭船来说时间减慢了，这样两个球在时间上就不再同步。在火箭船上的球的时间过得比地球上的球要慢得多。然后，如果一个人跳进放在地球上的球，他可能被吸入到连接它们的虫洞中，并穿过虫洞进入火箭船中，到达过去的某个时刻。（然而，这个时间机器不能将你带回到建造这架机器以前的时刻。）



负能量问题

尽管索恩（Thorne）的解决方案在它公布时使人非常感动，但是实际制造它，即便是高级文明也非常困难。因为这种类型的虫洞依靠大量负能量使虫洞的嘴保持张开，所以首先必须得到大量的非常稀少的负能量。因为通过卡西米尔（Casimir）效应创造的负能量非常微弱，所以虫洞的尺寸不得不比一个原子的尺寸小很多，就使穿过虫洞的旅行不现实。除了卡西米尔（Casimir）效应，还有其他的负能量源，但是所有这些能量源都是很难操作的。例如，物理学家保罗·戴维斯（Paul Davies）和斯蒂芬·菲林（Stephen Fulling）曾指出：一面快速移动的镜子可以产生负能量，当镜子移动时这些负能量在镜子前面积累起来。不幸的是，为了得到负能量，镜子必须以接近光速的速度移动。与卡西米尔（Casimir）效应一样，用这种方式产生的负能量也是很小的。

提取负能量的另一种方法是利用高能激光束。在激光的能态中有正能量和负能量共存的“压缩态”。然而，这个状态也很难操作。一个典型的负能量脉冲也许只可持续10^{-15}秒，接下去是一个正能量的脉冲。将正能量状态和负能量状态分开尽管极其困难，但它是可能的。我将在第11章讨论这一点。

最后，已弄清楚黑洞在它的事件穹界附近也有负能量存在。正如雅各布·贝肯斯坦（Jacob Bekenstein）和斯蒂芬·霍金（Stephen Hawking）指出的[7]：一个黑洞不是完全黑的，因为它慢慢蒸发出能量。这是因为测不准原理使隧穿辐射有可能通过黑洞的强大引力。但是因为黑洞蒸发使能量渐渐丧失，事件穹界随着时间越变越小。通常，如果正物质（如一颗恒星）掉进黑洞，事件穹界扩张。但是如果负物质掉进黑洞，事件穹界收缩。这样，黑洞蒸发在事件穹界附近产生负能量。（有人提倡将虫洞的嘴放在靠近事件穹界的地方，以获得负能量。然而，获得这样的负能量将是极其困难和危险的，因为你不得不极其靠近事件穹界。）

霍金（Hawking）指出，为了稳定所有的虫洞解，通常需要负能量。理由非常简单。通常，正能量可以产生一个能够浓缩质量和能量的虫洞开口。这样当光线进入虫洞的嘴时光线会聚。然而，如果这些光线从另一面出现，那么在虫洞中心的某个地方光线会发散。这种情况只有在存在负能量时才会发生。此外，负能量是排斥的，这是保持虫洞在引力作用下不发生坍塌所需要的。因此，建造一架时间机器或虫洞的关键，是找到足够数量的负能量使虫洞的嘴张开和保持稳定。（一些物理学家指出，在强大引力场存在的情况下，负能量场是相当普通的。因此大概有一天引力负能量可以用来驱动时间机器。）

这样一架时间机器所面临的另一个障碍是：上哪儿去找虫洞？索恩（Thorne）依赖的事实是虫洞是自然发生的，它被称为“时空泡”（space-time foam）。这又回到2000多年前希腊哲学家芝诺（Zeno）提出的问题：一个人能够旅行的最小距离是什么？

芝诺（Zeno）曾经在数学上证明：跨过一条河是不可能的。他首先将跨过一条河的距离细分为无限个点。但是跨过无限个点需要无限个时间量，因此他得出结论是不可能跨过这条河。或者，由于这个理由，任何东西都根本不可能移动。（过了2000多年，出现了微积分，最后解决了这个疑惑。它可以证明在有限量的时间里可以通过无限多的点，使得运动在数学上证明是可能的。）

普林斯顿大学的约翰·惠勒（John Wheeler）分析爱因斯坦方程想找到这个最小距离。他发现这个距离小得难以相信，量级为普朗克长度（10^{-33}厘米）。爱因斯坦的理论预计空间的曲率是非常的大。换句话说，在普朗克长度的尺度上，空间根本不是光滑的，而是有很大的曲率，即它是卷曲的和“泡沫”状的。空间变成多块状的，并实际上生成极小的在真空中忽隐忽现的气泡。甚至真空的空间在很小的距离上也总是有空间时间的小气泡在沸腾，它们实际上是小的虫洞和婴宇宙。通常，“虚拟粒子”由电子和反电子对构成，它们瞬间出现，然后又彼此湮灭。但是在普朗克距离上，代表整个宇宙和虫洞的小气泡可以一跃而出，又会意想不到地消失在真空中。我们的宇宙也许就是从漂浮在时空泡沫中的一个小气泡，由于还不知道的原因突然膨胀开始的。

因为虫洞是在泡沫中自然发现的，索恩（Thorne）假定：一个高级文明可以用一种办法从泡沫中挑选虫洞，然后用负能量使它膨胀和稳定。尽管这是非常困难的过程，但它是符合物理定律的。

尽管索恩（Thorne）的时间机器在理论上是可能的，但从工程观点来看，建造一架时间机器是极其困难的。还有一个恼人的问题：时间旅行违背物理学的基本定律吗？



卧室中的宇宙

1992年，斯蒂芬·霍金（Stephen Hawking）试图一劳永逸地解决这个有关时间旅行的问题。他是本能地反对时间旅行的。如果穿越时间的旅行像星期天的野餐那么普通，那么我们应当能看到从未来而来的旅行者傻呆呆地看着我们和为我们拍照。

但是物理学家常常引证T．H．怀特（T．H．White）的史诗般的小说《曾经和永恒之王》（*The Once and Future King*）。小说中的蚂蚁社会规定："不被禁止的事情是必须做的。"换句话说，如果物理学的基本原理不禁止时间旅行，那么时间旅行一定是有可能的。（原因是不确定性。除非某事被禁止，否则量子效应和波动将最终使它成为可能，只要我们能长期等待。这样，除非有一条定律禁止它，否则它将最终发生。）作为回应，斯蒂芬·霍金（Stephen Hawking）提出一个"年表保护猜想"以阻止时间旅行，因此历史学家可以安全地书写历史。根据这个猜想，时间旅行是不可能的，因为它违背了特定的物理原理。

因为虫洞解是极难处理的，斯蒂芬·霍金（Stephen Hawking）从分析马里兰大学查尔斯·米什内尔（Charles Misner）发现的简化宇宙开始讨论。这个宇宙有所有时间旅行的要素。例如，米什内尔（Misner）空间是一个理想的空间，在这个空间中，你的卧室成为整个宇宙。假定卧室左墙的每一点与右墙的相应点是相同的。这意味着你向左墙走，你不会碰得头破血流，而是穿过墙重新出现在右墙。这意味着，在某种意义上左墙和右墙是连接在一起的，像一个圆柱体。

此外，前墙上的点和后墙上的点是相同的，天花板上的点和地面上的点是相同的。这样，如果你在任何方向上走，你恰好穿过卧室墙回到卧室。你逃不出去。换句话说，你的卧室就是整个宇宙！

真正奇怪的是，如果你仔细看左面的墙，你看到它实际上是透明的，在这堵墙的另一侧有一间你的卧室的复制品。实际上，这是你站在另一房间的你的精确克隆，尽管你只能看见你的背面，看不见前面。如果你向下或向上看，你也看到你自己的复制品。实际上有无限多个复制品站在你的前、后、左、右，以及上面和下面。

要想与你自己接触是十分困难的。每次你转过头想看一下你的克隆的脸，你发现它们也转过脸去，因此你怎么也看不到它们的脸。但是如果卧室很小，你可以将手伸过墙去抓住你前面的克隆的肩膀。这时你会吃惊地发现，你背后的克隆也伸出手抓住你的肩膀。你也可以将左手和右手伸到侧面，抓住侧面的克隆，就会有无限多个的你手拉着手。结

果，你完全可以手拉手地围绕宇宙一周。（你要想伤害你的克隆是不明智的。如果你拿枪瞄准你前面的克隆，你会重新考虑是不是要扣动扳机，因为在你背后的克隆也用枪在对准你！）

在米什内尔（Misner）的空间中，假定你周围的所有墙壁坍塌向你靠拢，事情就变得更有趣了。让我们假定卧室在坍塌，右墙以每小时2英里（3.22千米）的速度向你靠拢。如果你现在穿过左墙，从移动的右墙返回，你的速度就附加了每小时2英里，这样你现在移动的速度为每小时4英里（6.44千米）。实际上每次进左墙出右墙都会得到附加的每小时2英里的速度，因此你现在的速度为每小时6英里（9.66千米）。在围绕宇宙重复旅行之后，你旅行的速度为每小时6、8、10……英里，直至达到难以想象的接近光速的速度。

在某个临界点，你在米什内尔（Misner）宇宙中跑得是这样地快，结果在时间上你倒退旅行，回到了从前。事实上，你可以访问空间时间中从前的任何一点。霍金（Hawking）仔细分析了这个米什内尔（Misner）空间。他发现左墙和右墙在数学上几乎与虫洞的两个嘴相同。换句话说，你的卧室像一个虫洞，在这个虫洞中左墙和右墙相同，类似于虫洞的两个相同的嘴。

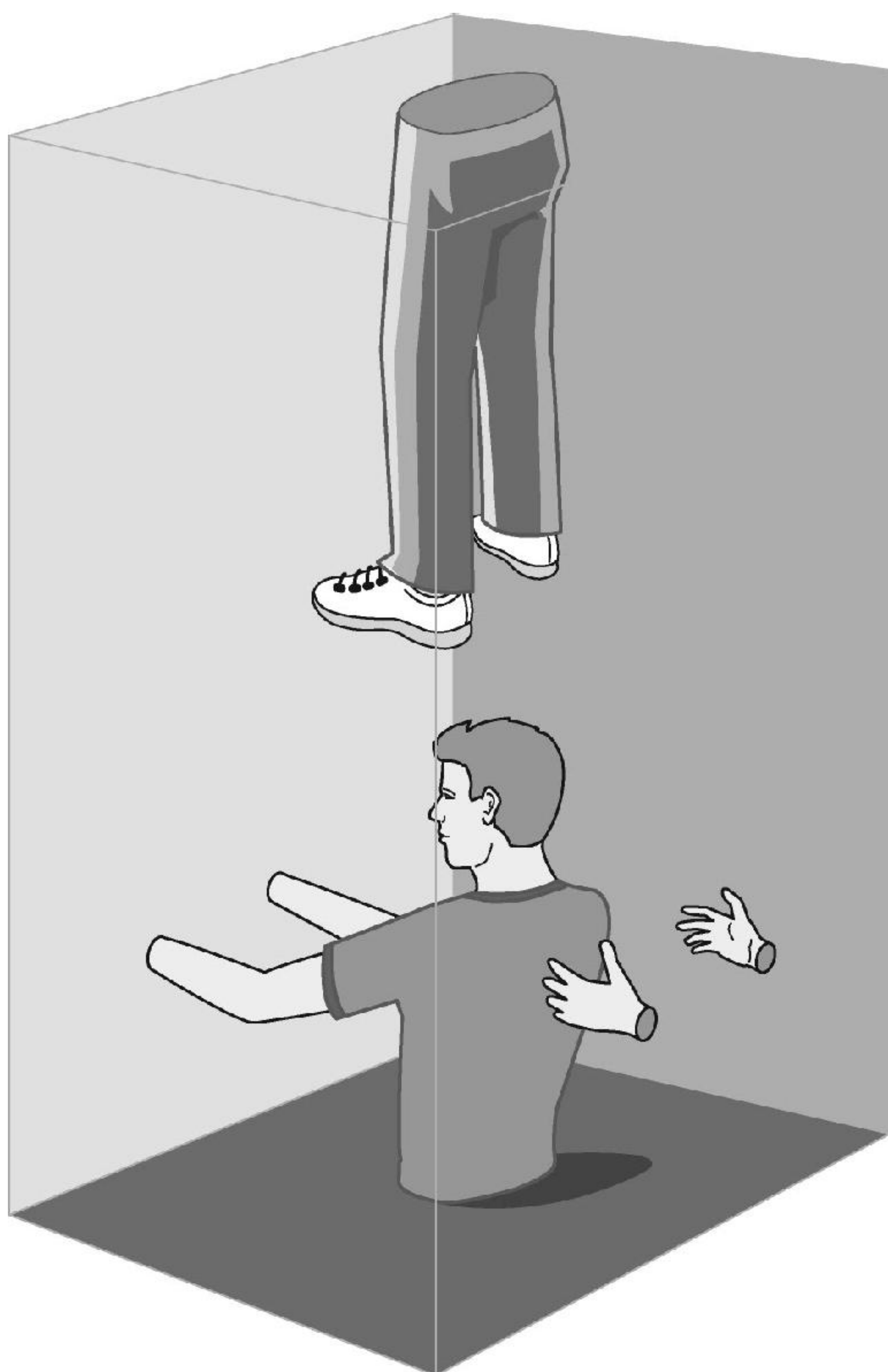


图9　在米什内尔（Misner）空间，整个宇宙包含在你的卧室中。对面的墙都是彼此连接的，因此进入一面墙你立刻从另一面墙走出。天花板和地板也同样是连接的。人们常常研究米什内尔（Misner）空间，因为它和虫洞有同样的拓扑，但数学上处理起来很简单。如果墙能移动，那么在米什内尔（Misner）宇宙中，时间旅行是可能的。

然后他指出：这个米什内尔（Misner）空间在经典力学和量子力学

中都是不稳定的。例如，如果你用手电筒光照射左墙，光束每次从右墙出来时都得到能量。光束发生蓝移，也就是说能量变得更大，直至能量达到无限，但这是不可能的。或者光束的能量变得如此之大，它本身产生巨大的引力场使卧室/虫洞坍塌。这样，如果你想走过虫洞，它就会坍塌。你也能看到：因为辐射线能够无限多次通过两堵墙，所以度量空间能量和物质含量的能量动量张量变得无限大。

对霍金（Hawking）来说，这是对时间旅行的致命打击，即产生的量子辐射效应会变得无限大，产生一个发散，杀死时间旅行者并关闭虫洞。

自从霍金（Hawking）的文章发表后，在物理文献中对霍金提出的发散问题展开了积极的讨论，有关年表保护问题，有的科学家赞成，有的反对。事实上，有些物理学家通过适当改变虫洞的尺寸和长度，开始在霍金的证据中找漏洞。他们发现有些虫洞解的能量动量张量确实发生了发散，但是在其他虫洞中能量动量张量是完全确定的。俄罗斯物理学家谢尔盖·克拉斯尼科夫（Sergei Krashnikov）考察了各种类型虫洞的发散问题，并得出结论说："没有一点证据说明时间机器一定是不稳定的。"

反对霍金的想法又很快转向另一个方向，以至普林斯顿大学的物理学家李立新（Li-Xin Li）（李立新教授现在北京大学。——编者注）甚至提出了一个反年表保护猜想："物理学定律不阻止封闭类时曲线的出现。"

1998年，霍金（Hawking）被迫做出某些让步。他写道："能量动量张量在某些情况下不发生发散，说明对早已过去的事件不一定要实行年表保护。"这不意味着时间旅行是可能的，只是意味着我们的理解还不完全。物理学家马修·维瑟（Matthew Visser）说，霍金推测的失败"并不意味着时间旅行的热心家就是对的，而是说明要解决年表保护问题需要完全建立量子引力理论"。

今天，霍金（Hawking）不再说时间旅行是绝对不可能的了，只是说它太不可能和太不实际了。时间旅行可能的几率是太小了，但是还不能完全排除它。如果有一天，找到一种办法能利用大量的正能量和负能量并且解决了稳定问题，也许时间旅行的确是可能的。（来自未来的旅行者还没有大量涌向我们的原因也许是：他们能够倒退的时间是时间机器创造出来的时候，也许时间机器到现在为止还没有造出来。）



戈特的时间机器

1991年，普林斯顿大学的J．理查德·戈特（J．Richard Gott III）提出了另一个对爱因斯坦方程的解，考虑了时间旅行问题。他的方法很有趣，因为他从全新的方法出发，完全放弃了旋转物体、虫洞和负能量。

戈特（Gott）1947年生于肯塔基州路易斯维尔市，说话带点温和的南方口音，在纯粹的、混乱的理论物理世界中有点像一个外来人。他童年就参加了业余天文学俱乐部，喜欢看恒星，因此从童年就开始了科学研究。

戈特在高中学习时，他赢得了声望很高的威斯汀豪斯科学天才选拔赛（Westinghouse Science Talent Search），从那时起就一直参加这个竞赛活动，担任评委主席很多年。从哈佛大学数学系毕业后，他去了普林期顿大学工作直到现在。

从事宇宙学研究之后，他开始对很多理论预计的大爆炸的遗迹“宇宙弦”感兴趣。宇宙弦的宽度可能比原子核更小，但它们的质量可能是恒星级，它们可能会在太空延展数百万光年。戈特（Gott）首次发现爱因斯坦方程的一个解，考虑了宇宙弦的存在。但是他又发现这些宇宙弦的一些不平常之处。取两个宇宙弦让它们彼此靠拢，刚好不要碰上，就有可能利用它们作为时间机器。首先，他发现如果围绕这两根刚好要碰上的宇宙弦旅行一周，空间将收缩，产生奇怪的特性。例如，我们知道如果围绕一个桌子走一圈就又回到出发点，转了360度。但是当一个火箭围绕这两根彼此相遇的宇宙弦跑一周时，转过的角度小于360度，这是因为空间收缩了。（锥体的拓扑结构也是这样，围绕锥体一周转过的角度也小于360度。）这样，通过环绕这两根弦快速地跑动，你的速度实际上可以超过光速（正如远距离的观察者所看到的），这是因为总的距离小于预计的距离。然而，这不违背狭义相对论，因为在你自己的参考坐标系中火箭没有超过光速。

但是这也意味着：如果一个人围绕这两根将要碰上的宇宙弦旅行，他就能回到过去。戈特（Gott）回忆说：“当我发现这个解时，我十分激动。这个解只用了正密度的物质，移动的速度比光速慢。相比之下，虫洞解要求更奇异的负能量密度的材料（重量小于零的材料）。”

但是时间机器需要的能量是巨大的。他评述说：“要想让时间旅行到过去，每厘米重量约为1亿亿吨的每根宇宙弦在相反方向移动速度至少为光速的99.999999996%。我们已经观察到宇宙中的高能质子移动的速度至少有这么快，因此这样的速度是可能的。”

一些评论家指出：宇宙弦即使存在的话也很罕见，碰撞的宇宙弦就更罕见了。因此戈特（Gott）建议如下：一个高级文明的社会也许能在外层空间发现一个单一的宇宙弦，利用巨大的空间船和巨大的工具，他们可以将这个弦重新成型为一个有点弯曲的矩形环（像一个躺椅的形状）。他假定这个环可以在自己的引力作用下坍塌，结果此宇宙弦的两个直边可能以接近于光的速度彼此分开，就这样简单地产生了一架时间机器。然而，戈特（Gott）承认："一个弦的坍塌环要大到使你环绕它一圈在时间上要用一年的时间，质量能量要超过整个星系的一半。"



时间悖论

从传统上讲，物理学家排除时间旅行的另一个理由是出于时间悖论问题。例如，你回到过去，在你出生之前将你的双亲杀死，那么你就不可能出生了。因此你绝不可能在时间上回到过去去杀死你的父母。这是不可能的，因为科学是根据逻辑一致的思想。这个真正的时间悖论就足以排除时间旅行的可能。

这些时间悖论可以分为几大类：

1．祖父悖论

在这种悖论中，你以一种方式改变过去，使今天的存在成为不可能。例如，你回到遥远过去的恐龙时代，不小心踩到一个小的满身是毛的哺乳动物，它是人类原始的祖先。因为你杀死了你的祖先，使得你今天在逻辑上不能存在。

2．信息悖论

在这种悖论中，信息来自将来，这意味着信息可能没有起源。例如，假如一位科学家造了一架时间机器，在时间上回到过去，把这个时间旅行的秘密告诉了年轻时候的他自己。这样时间旅行的秘密就没有起源了，因为年轻科学家拥有的时间机器不是他自己造的，而是从年老的他自己传给他的。

3．比尔克（**Bilker**）悖论

在这种类型悖论中，一个人知道将来的事情，可以做某些事情使得将来的事情成为不可能。例如，你让时间机器把你带到将来，你看见你注定要娶一个叫简（Jane）的女人。然而，根据你的喜好你决定娶海伦（Helen）。这样就使你自己的将来成为不可能。

4．性别悖论[8]

在这种类型悖论中，你生了你自己，在生理上这是不可能的。在英国哲学家乔纳森·哈里森（Jonathan Harrison）写的故事中，故事中的主人公不仅他的父亲是他自己，而且吃了他的人也是他自己。在罗伯特·海因莱因（Robert Heinlein）的经典故事《你们这些还魂尸》（*All You Zombies*）中，主人公同时是他的父亲、母亲、女儿和儿子，即家庭中其他三个成员是他自己。（故事情节见注释[8]。解开性别悖论实际上是相当棘手的，既要求时间旅行的知识，也要求知道DNA的结构。）

在《永恒的终结》（*The End of Eternity*）一书中，阿西莫夫（Asimov）想象一个“时间警察”负责防止这些悖论的产生。在电影《终结者》（*Terminator*）中，故事情节依赖信息悖论而转移。它讲到：科学家研究了一个从未来的机器人收回的微芯片，然后他们制造了一种有知觉的机器人接管了世界。换句话说，这些超级机器人的设计不是由发明者创造的，而只是来自未来的一个机器人的残骸。在《回到未来》（*Back to the Future*）电影中，迈克尔·J．福克斯（Michael J．Fox）力求避免祖父悖论。当他在时间上回到过去，见到十几岁时的他的母亲，她一见钟情地爱上了他。但是如果她放弃福克斯（Fox）未来的父亲的求爱，那么他本身的存在就受到威胁。

剧本作家在制作好莱坞大片时随意违背物理学定律。但是在物理学界，则非常严肃地对待这些悖论。任何对这些悖论的解答必须符合相对论和量子理论。例如，要符合相对论，时间的河流就不能简单地结束。你不能筑坝阻挡时间的河流。在广义相对论中，时间用一个光滑的、连续的表面代表，不能撕开或撕裂。可以改变它的拓扑结构，但不能停止它。这意味着，如果你在出生前杀死你的父母，你不能完全消失。这就违背了物理学定律。

当前，物理学家对于时间悖论集中在两个可能的解决方案上。第一，俄罗斯宇宙学家伊戈尔·诺维科夫（Igor Novikov）相信我们将被迫以一种方式行事而不让悖论发生。他的建议被叫做“自我一致性学校”（又译“自洽性学校”）。如果时间河流本身光滑地向回弯曲产生一个旋涡，他建议有某种“看不见的手”会阻止我们跳回到过去和产生时间悖论。但是诺维科夫（Novikov）的方法提出了自由意愿问题。如果我们在时间上回到过去，见到我们出生前的父母，我们可能会想我们应该有我们行动的自由。诺维科夫认为有一条未发现的物理定律阻止任何会改变将来的行动（例如杀死父母，使你不能出生）。他指出：“我们不能将时间旅行者送回到伊甸园要夏娃不从树上摘苹果。”

阻止我们改变过去和产生悖论的这种神秘的力是什么呢？他写道：“这种对我们自由行动意愿的限制是不平常的和神秘的，但不是完全没有道理的。例如，我们可能想要在没有任何设备的帮助下在天花板上行走。但引力定律不允许我们这样做。如果这样做的话就会掉下来，因此我们的自由意愿受到限制。”

但是没有生命的物质（根本没有自由意愿）被投向过去也会发生时间悖论。假定在公元前330年，在亚历山大大帝和古波斯帝国国王大流士三世就要爆发历史性战役之前，你把机关枪带到那个时候，告诉他们怎样使用。我们就有可能改变随后的整个欧洲的历史（我们也许会发现我们现在讲的是波斯语，而不是欧洲语）。

事实上，即便是对过去的最微小的干扰也可能会引起意想不到的今日的悖论。例如，“混沌理论”利用“蝴蝶效应”这个隐喻。在地球气候形成的危急关头，即便是一只蝴蝶翅膀的鼓翼也能产生波动，使力的平衡

破坏和引发强大的暴风雨。即便是最小的没有生命的物体送回到过去的岁月也会不可避免地以一种意想不到的方式改变过去，引起时间悖论。

第二种解决时间悖论的方式是：时间河流光滑地分岔成两条河或支流，形成两个截然不同的宇宙。换句话说，如果你在时间上回到过去杀死了你出生前的父母，你杀死的是另一个宇宙中在遗传上与你父母相同的人，在那个宇宙中你不会降生。但是在你原来的宇宙中的父母不受任何影响。

这个第二种假定叫做“多世界理论”，即所有可能的量子世界都有可能存在的思想。这就消除了霍金（Hawking）发现的无限发散[9]，因为在米什内尔空间（Misner space）中辐射线不重复穿过虫洞。它只穿过一次。每次穿过虫洞时它都进入一个新的宇宙。这个悖论大概涉及到量子理论的最深层次的问题：一只猫怎么会在同一时间又死又活呢？

要回答这个问题，物理学家不得不接受两个令人震惊的答案：要么有一个宇宙知觉在看着我们大家，要么有无限多个量子宇宙。

第6章　平行量子宇宙

我认为我可以有把握地说没有人懂得量子力学。

——理查德·费曼（Richard Feynman）

任何不被量子理论震撼的人就不懂得量子理论。

——尼尔斯·玻尔（Niels Bohr）

无限多个不大可能事物的驱动器是一种在一瞬间飞越星座距离的奇妙的新方法，而不需要在超空间中讨论来讨论去。

——道格拉斯·亚当斯（Douglas Adams）

在道格拉斯·亚当斯（Douglas Adams）写的销路最好的古怪科幻小说《搭便车者的星系旅行指南》（*Hitchhiker's Guide to the Galaxy*，又译《银河系漫游指南》）中，书中的主人公偶然发现了去恒星旅行的最富有创造性的方法。在星系间旅行，他想象可以不利用虫洞、超光速推进装置或空间入口，而是利用测不准原理飞越广阔的星际空间。如果我们能够找到一种方法控制某些不可能事件的概率，那么任何事情，包括超光速旅行，甚至时间旅行都是可能的。在几秒钟时间飞到遥远的恒星是不太可能的事情，但是当我们能够任意控制量子概率时，那么即使是不可能的事也变成普通的事情了。

量子理论是根据这样一种思想：所有可能的事件，不管它们多么梦幻或荒谬可笑，都有一定的概率发生。这个想法也是宇宙膨胀理论的中心思想。当原始大爆炸发生时，宇宙发生量子转变过渡到新的状态，在这个新的状态下有一个巨大的量使宇宙突然膨胀。看来我们整个的宇宙是从不大可能的量子跃迁中诞生的。尽管亚当斯（Adams）说的是笑话，物理学家认识到如果能够发现一种办法控制这些概率，我们的技艺就会和魔术师没有什么区别。但是到目前为止，改变事件的概率远远超出我们的技术能力。

我有时间我们大学的博士生一个简单的问题，如计算他们在墙的这一侧突然消失又重新出现在墙的另一侧的概率有多少。根据量子理论，有一个很小的但是可以计算的概率使这件事会发生。或者由于这种原因，我们会在自己的卧室中消失，又出现在火星上。根据量子理论，在原则上一个人有可能突然出现在火星上。当然，这样的概率太小了，我们等待的时间不得不比宇宙的寿命还要长。结果，在我们日常的生活中我们会排除这样的不可能事件。但是在亚原子水平，这些概率对电子、计算机、激光的功能是至关紧要的。

事实上在你的PC机和CD盘构件的内部，电子规则地消失在墙壁的

一侧并出现在墙壁的另一侧。事实是，如果不允许电子同时出现在两个地方，现代文明就会崩溃。（没有这个奇异的原理，我们身体内的分子也会崩溃。想象两个太阳系在空间，由于牛顿的引力定律而碰撞。碰撞的太阳系会崩溃，形成混乱的一堆行星和小行星。类似地，如果原子服从牛顿的定律，只要它们与另一个原子撞击就会破裂。将两个原子锁定在一个稳定的分子里的原因是：电子可以同时处在很多的位置，从而形成电子“云”将两个原子绑在一起。因此，分子稳定和宇宙不破裂的原因是电子能同时处在很多位置。）

如果电子可以存在于平行的状态，盘旋于存在和消失之间，那么为什么宇宙就不能呢？毕竟宇宙曾经比一个电子还小。一旦我们引进将量子原理应用到宇宙中的可能性，我们就不得不考虑平行宇宙。

在菲利普·K．迪克（Philip K．Dick）写的科幻小说《高城堡中的人》（*The Man in the High Castle*，又译《高堡奇人》等）中探讨的正是这种可能性。在这本书中，因为一个关键的事件，有另外一个宇宙从我们的宇宙中分离出去。在1933年，那个宇宙中的总统罗斯福在他当权的第一年就被他助手的子弹打死了，从而世界历史改变。副总统加纳取而代之，确定了孤立主义者的政策，削弱了美国的军事力量。由于对珍珠港偷袭没有准备，整个美国舰队被毁灭不能恢复，1947年美国被迫投降德国和日本。美国最终被分成三片，德意志帝国控制东海岸，日本控制西海岸，中间是一个不稳定的缓冲区，一个多岩石的山区。在这个平行宇宙中，有一个神秘的人根据圣经中的一段故事写了一本书叫做《蚱蜢撒大谎》（*The Grasshopper Lies Heavy*），这本书被纳粹禁止。这本书讲的是另一个宇宙，在这个宇宙中罗斯福没有被暗杀，美国和英国打败了纳粹。故事中女主人公的使命是看一看在另一个民主和自由，而不是暴政和种族偏见占主导地位的宇宙中这些是不是真的。



暮光地带

《高城堡中的人》所在的世界和我们的世界仅仅是由一个微小的偶然事件，一颗助手的子弹分开的。然而，一个平行的宇宙也可能通过一个最小的可能事件，如一个量子事件，一个宇宙射线的冲击而与我们的宇宙分开。

在系列电视片《暮光地带》（*Twilight Zone*，又译《阴阳魔界》）中有这样一段故事情节：一个人醒来，发现他的妻子不认识他。她尖叫着离开去叫警察。当他在城镇周围漫游时，他发现他毕生的朋友也不认识他，好像他从未存在过。最后，他访问他父母的家，让他大吃一惊。他的父母说他们以前从未见过他，并且他们从来没有过儿子。没有朋友、家庭或一个家，他漫无目的地在城市周围游荡，最后在公园的长椅子上睡着了，像一个无家可归的人。当他第二天醒来时，他发现他和他的妻子舒适地睡在床上。然而，当他的妻子转过身来，他吃惊地发现她根本不是他的妻子，睡在他床上的是一个以前从未见过的陌生的妇女。

这样荒谬的故事可能吗？也许吧。如果《暮光地带》中的主角问他的母亲一些有启迪作用的问题，他或许能发现她流过产，因此从来没有儿子。有时一条单一的宇宙射线，一个单一的从外层空间来的粒子能够穿透到胚胎内的DNA中，引起变化导致流产。在这样的情况下，一个单一的量子事件就能将两个世界分开，一个是我们正常生活的世界，另一个世界除了你从未诞生以外是完全相同的。

从这个世界走到另一个世界，物理学定律是允许的。但是这个可能性很小很小，也就是说发生的概率是非常非常小。并且正如你能看到的，量子理论对我们的宇宙的描述比爱因斯坦的描述要奇怪得多。在相对论中，我们表演的生活舞台可以是橡胶皮做成的，当演员在舞台上活动时走过曲线的路径。在爱因斯坦世界中的演员也像牛顿世界中的演员一样，鹦鹉学舌地背诵事先写好的剧本台词。但是在量子世界的表演中，演员会突然扔掉剧本按他们自己的意愿表演。就好像木偶扯断了拴住它们的线，按它们自己的意愿表演一样。演员可以从舞台消失又重新出现。甚至陌生人也是这样，他们可能会发现他们自己同时出现在两个地方。演员在念他们的台词时不能确切地知道是不是在对某个可能突然消失而又出现在另一个地方的人讲话。



怪物的智力：约翰·惠勒

大概除了爱因斯坦和玻尔以外，没有人能比约翰·惠勒（John Wheeler）更强烈地挑战量子理论的荒谬和成功了。难道所有的物理现实都是一种幻觉吗？平行的量子宇宙确实存在吗？在过去，当他不再琢磨这些难以处理的量子矛盾时，他把这些或然性用于制造原子弹和氢弹，并倡导在黑洞的研究中。他的学生理查德·费曼（Richard Feynman）一直与量子理论的荒谬结论搏斗，他曾经将约翰·惠勒称为最后一位巨人或“怪才”。

是惠勒在1967年杜撰了“黑洞”这个术语。那是在第一颗脉冲星发现之后，在纽约城美国国家航空航天局（NASA）的戈达德空间研究所的一次会议上提出的。

惠勒1911年生于佛罗里达的杰克逊维尔。他的父亲是一个图书管理员，但他的家庭的血统是搞工程学的。他的三个叔叔是采矿工程师，在他们的工作中经常使用炸药。使用炸药的想法使他着迷，他喜欢看爆炸。（一天，他不小心地实验一块炸药，炸药意外地在他的手中爆炸了，炸掉一节大拇指和一个手指尖。巧合的是，当爱因斯坦是一个学院学生时，由于不小心，一次类似的爆炸在他的手里发生，结果缝了好几针。）

惠勒是一个早熟的孩子，很早就掌握了微积分，并贪婪地阅读能够找到的有关量子力学新理论的每一本书。就在他的眼前，在欧洲一个新的理论由尼尔斯·玻尔、沃纳·海森堡和埃尔温·薛定谔创立。这个理论突然揭开了原子的秘密。就在几年前，哲学家恩斯特·马赫（Ernst Mach）的追随者还在嘲笑原子的存在，说原子从未在实验室中观察到，大概是一种虚构。他们说看不见的东西大概是不存在的。奠定热动力学定律的伟大的德国物理学家路德维希·冯·玻尔兹曼（Ludwig von Boltzman）在1906年自杀，部分原因是他推出原子概念所面对的强烈的嘲笑和奚落。

然而，经过短短的非常重要的几年，从1925年到1927年，原子的秘密突然被揭开了。在现代历史上（除了1905年爱因斯坦的工作以外）从来没有在这样短的时间内完成这样重大的突破。惠勒想成为这个革命的一部分。但他认识到美国的物理学研究是落后的，在它的行列中没有一位世界级的物理学家。像他之前的J．罗伯特·奥本海默（J．Robert Oppenheimer）一样，惠勒离开美国旅行到哥本哈根去向大师尼尔斯·玻尔学习。

以前的有关电子的实验证明，电子既是粒子又是波。这个奇怪的波

粒二象性是最终被量子物理学家揭示的：电子在围绕原子跳动时它表现为粒子，但它伴随有神秘的波。1925年，奥地利物理学家埃尔温·薛定谔（Erwin Schrödinger）提出一个方程（著名的薛定谔波动方程），精确地描述伴随电子的波的运动。这个波用希腊字母ψ（普西）表示，它惊人地精确预计原子的行为，引发了物理学的一场革命。突然，几乎是从基本原理出发，人们能够窥视原子的内部，计算电子怎样在它们的轨道上跳舞，怎样转变和将原子绑在一起成为分子。

作为量子物理学家的保罗·狄拉克（Paul Dirac）吹嘘说，物理学将很快将所有的化学简化为纯粹的工程学。狄拉克（Dirac）宣布："大部分物理学和整个化学的数学理论所需要的基本物理定律因此完全清楚了，困难仅仅是从这些定律的应用得出的方程太复杂，不好解。"与这个波函数ψ一样引人入胜的是：它实际代表什么仍然是个谜。

最后，在1928年，物理学家马克斯·玻恩（Max Born）提出一个想法：这个波函数代表在一个给定地点发现电子的概率。换句话说，你绝不能精确知道电子在哪，所有你能够做的是计算它的波函数，告诉你它在某处的概率。因此，如果原子物理学能够归纳为一个电子位于某处的概率波，如果一个电子能够同时出现在两个地方，我们怎么能够最终确定电子确实在哪呢？

玻尔和海森堡最终在一本量子烹调书中开出一套完整的食谱方，能够非常精确完美地应用在原子实验中。波函数仅告诉你电子位于某处的概率。如果在某一点波函数大，这意味着电子位于此处的概率就大。如果在某一点波函数小，在这点发现电子的概率就小。例如，如果我们能够"看"到一个人的波函数大，那么你看到这个人的概率就很大。然而，波函数也逐渐渗漏到空间去，这意味着在月亮上发现这个人的概率就很小。（事实上，这个人的波函数实际散布到整个宇宙中。）

这也意味着一棵树的波函数可以告诉你它或者是挺立着或者是倒下的概率，但是不能确切告诉你它实际的状态。但是常识告诉我们物体是处于一个确定的状态。当你看一棵树时，这棵树就确确实实在你的面前。也就是说树不是立着就是倒下，不能同时是二者。

要解决概率波和有关存在的常识观念之间的矛盾，他们假定：在一位外界观察者做了测量之后，波函数就魔术般地"消失"了，电子落入确定的状态。也就是说，我们看过这棵树之后，我们看到这棵树是确实立着的。换句话说，观察过程确定电子的最终状态。观察对存在是至关重要的。在我们看了电子之后，它的波函数就消失了，因此现在电子是处在确定的状态，不再需要波函数。

因此，玻尔的哥本哈根学派的假定粗略地讲可以总结为以下几点：

1. 所有的能量发生是在叫做"量子"的离散包中。（例如，光的量子

叫做光子，弱核力的量子叫做W玻色子和Z玻色子，强核力的量子叫做“胶子”，引力的量子叫做“引力子”，它在实验室中尚未发现。）

2. 物质由点粒子代表，但是发现点粒子的概率由一个波确定。该波动又服从特定的波动方程（如薛定谔波动方程）。
3. 在进行观察前，物体可以同时以各种可能的状态存在。要确定物体处在什么状态，必须进行观察，它使波函数“消失”（坍塌），物体进入确定状态。观察的作用是使波函数消失（坍塌），使物体呈现确定的状态。波函数所起的作用是：给我们在特定状态下发现物体的精确概率。



决定论或不确定性？

量子理论是所有年代最成功的物理理论。量子理论的最高形式是标准模型，它代表粒子加速器几十年实验的成果。这个理论的若干部分已经过测试，精度到一百亿分之一。如果将中微子质量包括进去，那么标准模型与所有亚原子粒子的实验一致，无一例外。

但是无论量子理论多么成功，在实验上它是根据一些基本假定，这些假定在过去80年间遭到哲学界和理论界的强烈反对。特别是（哥本哈根学派的）第二个假定，因为它问是谁决定我们的命运，所以引起宗教界的愤怒。自始至终，哲学家、神学家和科学家都对未来着迷，是不是有一种办法能知道我们的命运。在莎士比亚的悲剧《麦克白》（*Macbeth*）中，班戈（Banquo）绝望地揭开遮盖我们命运的面纱，说出了以下难忘的话：

（第一幕，第三场）

如果你查看时间的种子
并说哪一粒生长哪一粒不，
那么请对我讲……

莎士比亚在1606年写下这些话。80年后，另一位英国人艾萨克·牛顿大胆地声称他知道了对这一古老问题的答案。牛顿和爱因斯坦都相信“决定论”概念，它说所有将来的事件在原则上能够确定。对牛顿来说，宇宙是一个在创世之初由上帝上紧了发条的巨大钟表。从那时起它就按照他的运动三定律，以可以预计的精确方式滴答滴答地走个不停。法国数学家，拿破仑的科学顾问皮埃尔·西蒙·德·拉普拉斯（Pierre Simon de Laplace）写道，人们可以利用牛顿定律像观察过去一样精确地预测将来。他写道，如果知道了宇宙中所有粒子的位置和速度，“对这样一种智力来说，没有任何事情是不确定的，将来就好像过去一样呈现在我们的眼前。”当拉普拉斯（Laplace）将他的杰作《天体力学》（*Celestial Mechanics*）赠送给拿破仑时，这个皇帝说：“你写了这部有关天空的巨著而一次都没有提到上帝。”拉普拉斯（Laplace）回答说：“先生，我不需要这个假设。”

对牛顿和爱因斯坦来说，“自由意志”的概念，即我们是我们命运的主人的说法，实际上是一个幻想。爱因斯坦把这个实体的常识性概念，即我们接触到的具体物体是真实的和存在于确定状态的概念，叫做“客观实体”。爱因斯坦在下面的话中最清楚地表达了他的态度：

“我是决定论者，被迫行动就好像自由意志是存在的一样，因为如果我想生活在文明社会，我必须负责任地行事。我知道在哲学上一个杀人犯不对他的罪行负责，但我不会情愿和他一起喝茶……我的履历是由我无法控制的种种力量所决定的。亨利·福特（Henry Ford）可能将它叫做他内心的声音，苏格拉底（Socrates）将它叫做他的精灵，每个人都能以他自己的方式解释人类不是自由的这一事实……一切事情都是被我们无法控制的力决定的……对于昆虫以及恒星来说都是如此。人类、蔬菜或宇宙尘埃都在随神秘的时间跳舞，一位远距离的看不见的演员在为我们吟咏。”

神学家也争论这个问题。世界上的大多数宗教相信某种形式的“先天注定”的思想。即上帝不仅是全能的，而且是无所不在的。上帝也是无所不知的（知道一切，甚至将来）。在某些宗教中，这意味着上帝在我们出生前就知道我们是去天堂还是地狱。从本质上讲，在天堂的某处有一本命运的书，列举着所有人的姓名，包括我们的生日、我们的失败和成功、我们的快乐和悲哀，甚至我们的死亡日期，是去天堂还是地狱。

（在1517年，这个微妙的先天注定的神学问题是威滕贝格〔Wittenberg〕的天主教堂分裂成两半的部分原因。在这个教堂中，马丁·路德〔Martin Luther〕抨击教堂用金钱赎罪的做法，即富人通过贿赂铺平通往天堂的道路。大概路德〔Luther〕好像在说，上帝确实事先知道我们的将来和我们的命运是先天注定的，但是人们的劝说也不能改变他向这个教堂慷慨捐赠的意愿。）

但是对接受或然性观念的物理学家来说，到目前为止最有争议的假定是（哥本哈根学派的）第三个假定，它使几代物理学家和哲学家感到头疼。“观察”的概念是一个不精确的、不清楚的概念。此外它依赖于实际上有两种类型的物理学这一事实：一种是用于奇异的亚原子世界的，在这个世界中电子似乎可以同时在两个不同的地方出现；另一种是用于我们生活在其中的宏观世界的，这个世界似乎服从一般承认的牛顿定律。

根据玻尔的说法，有一堵看不见的“墙”将原子世界与日常的、熟悉的宏观世界隔开。原子世界服从奇异的量子理论规则，而我们生活在此墙之外的定义明确的行星和恒星的世界中，在这个世界中波已经消失（坍塌）。

惠勒师从量子力学的创建者，喜欢总结两个学派关于这个问题的思想。他给出一个例子，在一场棒球比赛中三个裁判员讨论棒球的罚分点。在做出决定时三个裁判说：

第一个裁判：我按照看见他们的样子进行裁定。

第二个裁判：我按照他们的实际情况进行裁定。

第三个裁判：在我裁定之前，他们不存在。

对惠勒来说，第二个裁判是爱因斯坦，他相信有不依赖于人类经验的绝对实体。爱因斯坦将此叫做“客观实体”，即物体能够以确定的状态存在，而不需要人类的干预。第三个裁判是玻尔，他认为仅在观察之后实体才存在。



森林中的树

物理学家有时会轻蔑地看待哲学家，引用罗曼·西塞罗（Roman Cicero）的话，他曾经说："没有什么事情比哲学家说的话更荒谬了。"数学家斯坦尼斯瓦夫·乌拉姆（Stanislaw Ulam）鄙视将无聊的概念赋予高贵的名字，他曾经说："对各种类型的胡言乱语进行细致的区分是不值得的。"爱因斯坦自己也曾经评论哲学，他说："所有哲学家写的东西都是蜂蜜吗？这些东西初看上去好像很美妙，但是再看一次就什么都没有了，留下的只是废话。"

物理学家也喜欢讲一个据说是大学校长讲的虚构故事，这位校长愤怒地看着物理系、数学系和哲学系的预算。他暗自说："为什么你们物理学家总是要求这么昂贵的设备？而数学系什么都不要，只要一些钱买纸和笔，还有废纸筐。哲学系就更好了，它甚至连废纸筐也不要。"

然而，哲学家也可能笑到最后。量子理论是不完善的，依赖不可靠的哲学基础。有关量子理论的论战迫使人们重新考察哲学家，如伯克利主教（Bishop Berkeley）的思想。这位18世纪的大主教声称：物体因为人们看到它才存在，一种叫做唯我论或唯心论的哲学。他们声称：如果一棵树在森林中倒下，但是没有人看到它倒下，它就没有真正倒下。

现在量子理论是这样解释森林中倒下的树的。在进行观察之前，你不知道它是不是倒下的。事实上，这棵树可以同时存在于所有可能的状态：也许它烧掉、倒下、被劈成了劈柴、被锯成了锯末等。一旦进行了观察，这棵树突然呈现一种确定的状态，例如，我们看见它倒下了。

费曼从哲学上比较了相对论和量子理论的困难性，他曾说："有一段时间报纸说，只有12个人懂得相对论。我不相信曾经有过这样的时候……但是我相信我可以有把握地说没有人懂得量子力学。"他写道："从常识的观点看，量子力学对自然的描述是荒谬可笑的。但是它与实验完全吻合。因此我希望你能够接受自然是荒谬的，因为它确实是荒谬的。"这在很多虔诚的物理学家中间产生一种不安的情绪，他们感到好像他们是在流沙上创建整个世界。史蒂文·温伯格（Steven Weinberg）写道："我承认在我一生的工作中我感到有些不安，因为没有人完全理解我建立的理论框架。"

在传统科学中，观察者尽可能地使自己与世界脱开。（正如一位爱讲笑话的人说的："你总能在脱衣舞夜总会里看到这位科学家，因为他是唯一一位考察观众的人。"）但是现在我们开始看到不可能将观察者与观察对象分开。正如马克斯·普朗克（Max Planck）曾经说的："科学不能

解答自然的最终秘密。这是因为归根到底我们自己也是我们要解答的秘密的一部分。”



猫的问题

埃尔温·薛定谔（Erwin Schrödinger）首先引进了波动方程，他想这是不是走得太远了。他向玻尔承认他感到抱歉，因为玻尔将概率概念引进物理学，而他却提出了波的概念。

为了推翻概率的想法，他提出一个实验。想象一只猫被关在一个盒子里。盒子里面有一瓶毒气，瓶子上面有个锤子，锤子又连接到一个盖氏计数器，计数器放在一块铀的附近。没有人怀疑铀原子的放射性衰变是一个事先无法预计的纯粹的量子事件。比如说铀原子在下一秒衰变的几率是50%。但是如果一个铀原子发生衰变的话，它将触发盖氏计数器，盖氏计数器又触动锤子将玻璃瓶打碎，毒气将杀害这只猫。打开盒子之前不可能知道这只猫是死是活。事实上，为了描述猫，物理学家把活猫和死猫的波函数包含在内，也就是说我们将猫放到一个同时是50%是死的，50%是活的地狱中。

现在打开盒子。一旦我们窥视盒子就做了观察，波函数就消失（坍塌）了，我们看见猫，比如说是活的。对薛定谔来说这是可笑的。一只猫怎么会同时是死的又是活的呢，只是因为我们还没有看它吗？一旦我们观察它就突然出现而存在了吗？爱因斯坦也不喜欢这种解释。每当客人来到他的住宅，他会说：看那个月亮。是因为一只老鼠看它，它才突然跳出来的吗？爱因斯坦相信答案是“不”。但是在某种意义上，答案也许是“是”。

在1930年的索尔韦会议上，在爱因斯坦和玻尔之间发生了历史性的冲突，争论终于达到顶点。惠勒后来评论说：“这是我所知道的在知识史上的最伟大的争论。30年来，我从未听过在两位巨人之间的争论，经历的时间是这样长，争论的问题是这样深奥，争论结果的意义是这样深远，影响我们对宇宙的理解。”

爱因斯坦总是勇敢地、大胆地、极其雄辩地提出一系列连珠炮似的“思想实验”以推翻量子理论。玻尔则不停地喃喃细语反驳一次又一次的进攻。物理学家保罗·埃伦费斯特（Paul Ehrenfest）评述说：“我能够在场聆听玻尔和爱因斯坦的对话真是太妙了，像一位棋手那样，永远都有新的棋局。爱因斯坦抱定决心要打败不确定性。玻尔则总是在哲学的烟雾之外寻找工具摧毁一次又一次的进攻。爱因斯坦像一个玩偶匣每天早上都冒出新鲜的想法。哦，真是太令人愉快了。但是我几乎是毫不客气地支持玻尔反对爱因斯坦了。他对待玻尔的态度太傲慢了，完全像一个绝对冠军一样。”

最后，爱因斯坦提出了一个实验，他认为会给量子理论致命一击。想象一个含有光子气的盒子。假定盒子有一个快门能够短暂地释放单个的光子。因为我们能够精确地测量快门的速度，也能测量光子的能量，因此能够无限精确地确定光子的状态，从而违背测不准原理。

埃伦费斯特（Ehrenfest）写道："对玻尔来说这是沉重的一击。在当时他找不到解答。整个晚上他非常不愉快，从一个人处走到另一个人处，试图劝说他们相信爱因斯坦的话是不对的，因为如果爱因斯坦是对的话，这就意味着物理学的终结。但是他想不到驳斥的理由。我永远也不能忘记两位对手离开大学俱乐部的样子。爱因斯坦雄赳赳气昂昂地大步走过，面带隐约的轻蔑的笑容，而玻尔小步走在爱因斯坦的旁边，极其灰心丧气。"

当后来埃伦费斯特（Ehrenfest）遇到玻尔时，他不说话，只是嘴里一遍又一遍地咕哝："爱因斯坦……爱因斯坦……爱因斯坦。"

第二天，经过紧张的不眠之夜，玻尔在与爱因斯坦的争论中找到一个小缺口。在发射光子之后，盒子要稍微轻一点，因为物质和能量是等同的。这意味着在引力作用下盒子会略微升起一点，这是因为根据爱因斯坦自己的能量有重量的引力理论。但是这就在光子的能量中引进了不确定性。如果计算这个重量的不确定性和快门速度的不确定性，就会发现这个盒子正好符合测不准原理。结果，玻尔利用爱因斯坦自己的引力理论驳倒了爱因斯坦！玻尔以胜利者出现。爱因斯坦以失败者告终。

当后来爱因斯坦抱怨说："上帝不和我们的世界玩掷骰子游戏。"据传说，玻尔回击道："别拿上帝说事。"

最终，爱因斯坦承认玻尔成功地驳倒了他的论点。爱因斯坦写道："我相信这个理论的确包含了一定的真理。"（然而，爱因斯坦蔑视那些不能鉴别量子理论中的微妙矛盾的物理学家。他曾经写道："当然，今天每一个无赖都认为他知道答案，但是他是在糊弄他自己。"）

在与量子物理学家进行了这样和那样的激烈争论之后，爱因斯坦最终让步了，但采用的是不同的方法。他勉强承认量子理论是正确的，但只是在一定的领域之内，仅仅是真正的真理的近似。他想以相对论归纳（而不是用摧毁）牛顿理论的同样方式，将量子理论吸收到一个更广泛的、更强大的理论——统一场论中。

（以爱因斯坦和薛定谔为一方，玻尔和海森堡为另一方的这场争论并未平息，因为这些"思想实验"现在已经能在实验室中进行。尽管科学家无法让猫出现时既是死的又是活的，但他们现在能够用纳米技术操纵单个的原子。近来，用一个含有60个碳原子的巴基球〔Buckyball〕进行了这些想象中的实验，这样由玻尔想象的将大物体和量子物体隔开的"墙"就迅速坍塌了。实验物理学家现在甚至预测需要什么才能显示一个含有几千个原子的病毒能同时出现在两个地方。）



核威慑

不幸的是，一直进行到夜晚的有关这些极有趣味的讨论被1933年希特勒的出现和制造原子弹的需要中断了。人们通过爱因斯坦的著名方程$E = mc^2$早已知道巨大的能量禁闭在原子中。但是大多数物理学家对能够利用这个能量的想法一笑置之。甚至埃文·欧内斯特·卢瑟福（Even Ernest Rutherford），这位发现原子核的人也说："通过破碎原子产生能量是一件不大可能的事情。任何人想要从转变这些原子获得能源只是一种妄想。"

1939年，玻尔作了一次到美国的决定性的旅行，在纽约降落会见他的学生约翰·惠勒。他带来一个不祥的消息：奥托·哈恩（Otto Hahn）和莉泽·迈特纳（Lise Meitner）已经指出在一个叫做"裂变"的过程中铀核可以分裂成两半释放能量。玻尔和惠勒开始研究核裂变量子动力学。因为在量子理论中，任何事情都与或然性和概率有关，他们估计一个中子破碎铀核有可能释放两个或更多的中子，这些中子又使更多的铀核裂变释放更多的中子，如此下去，将触发能毁灭一个现代城市的连锁反应。（在量子力学中，绝不能知道哪个中子将裂变铀核，但是可以以难以置信的精度计算在一枚原子弹中几十亿个铀原子裂变的概率。这就是量子力学的威力。）

他们的量子计算显示原子弹是可能的。两个月后，玻尔、尤金·维格纳（Eugene Wigner）、利奥·西拉德（Leo Szilard）和惠勒，在普林斯顿大学爱因斯坦的老办公室中会面，讨论原子弹的前景。玻尔相信造原子弹要花费整个国家的资源。（几年后，西拉德劝说爱因斯坦写了一封具有决定性意义的信给富兰克林·罗斯福总统，催促他造原子弹。）

同一年，纳粹知道了从铀原子释放的巨大能量能给他们无与伦比的武器，于是命令玻尔的学生海森堡为希特勒造原子弹。一夜之间，关于裂变的量子概率的讨论变成极其严肃的、事关人类历史濒临危险的重大事件。发现活猫概率的讨论很快被铀裂变的概率讨论取代了。

1941年，纳粹占领了大部分欧洲，这时海森堡作了一次秘密的旅行，去哥本哈根见他的导师玻尔。

这次会见的性质仍然是个谜，关于它写了一个赢得奖品的剧本，历史学家一直在争论它的内容：是海森堡答应破坏纳粹的制造原子弹的计划吗？还是海森堡要玻尔帮助纳粹造原子弹？直到60年后，在2002年，海森堡的意图才最终浮出水面，这一年玻尔的家人公布了玻尔在20世纪50年代写给海森堡但从未寄出的信。在这封信中，玻尔回忆到：海森堡

在那次会面时说纳粹的胜利是不可避免的。因为纳粹的力量无法抗拒，唯一合乎逻辑的是玻尔应为纳粹工作。

玻尔十分惊骇。虽然心惊胆战，但他拒绝让他的关于量子理论的工作落入纳粹之手。因为丹麦在纳粹的控制下，玻尔乘一架飞机秘密逃亡，在奔向自由的道路上由于飞机缺氧，玻尔差一点窒息而死。

与此同时，在哥伦比亚大学，恩里科·费米（Enrico Fermi）已经指出核连锁反应是可行的。在他得出这个结论后，他俯视纽约城，叹息只要一颗原子弹就可以将他看到的一切摧毁。惠勒认识到情况已变得有多么严重，他自愿离开普林斯顿加入费米（Fermi）的工作，在芝加哥大学斯塔格·菲尔德（Stagg Field）的地下室里建造了第一台核反应堆，正式开创了核时代。

在下一个十年，惠勒目击了核战中一些最重要的发展。在战争期间，他帮助管理巨大的华盛顿州汉福德原子能研究中心的建造，生产摧毁长崎的原子弹所需要的原料钚。几年后，他为建造氢弹工作，目击了1952年在太平洋一个小岛上第一枚氢弹的爆炸和引起的破坏。但是在站在世界历史前沿十几年之后，他最后回到他的初衷，研究量子理论的秘密。



路径之和

第二次世界大战后，惠勒的众多学生中有一位名叫理查德·费曼（Richard Feynman）的，他大概是无意中发现了最简单的，也是最深刻的综合了量子理论复杂性的方法。（这个想法的结果之一是费曼在1965年赢得了诺贝尔奖。）比如说你想走过一间房间，根据牛顿学说，你会选从*A*到*B*的最短距离，叫做经典路径。但是根据费曼方法，你必须首先考虑连接*A*和*B*的所有可能的路径。这意味着要考虑到火星、木星、最近的恒星的路径，甚至在时间上返回到大爆炸的路径。不管这些路径是多么愚蠢、多么奇异，但你必须考虑它们。费曼给每条路径一个数值，给出一套精确的规则计算这个数值。不可思议的是，将所有可能路径的数值加起来，你就得到标准量子力学给出的从*A*点走到*B*点的概率。这确实是非凡的。

费曼（Feynman）发现非常奇异的和违背牛顿运动定律的路径的这些数值通常相互抵消，总和很小。这就是量子波动的起源，即它们代表的路径总和很小。他也发现通常意义的、牛顿学说的路径不相互抵消，因此总和最大，即它是具有最大概率的路径。因此，我们通常了解的宇宙只是无数个状态中概率最大的状态。但是所有可能的状态与我们共存，有些状态把我们带回到恐龙时代，有些把我们带到最近的超新星，有些把我们带到宇宙的边缘。（这些奇异的路径产生极小的偏移，背离常识的、牛顿学说意义的路径，但是幸亏它们的概率很低。）

换句话说，也许看上去很奇怪，每当你走过房间时，你的身体就会事先“寻找”各种可能的路径，甚至通往遥远类星体和大爆炸的路径，然后把它们加起来。费曼利用强大的数学（叫做函数积分）证明：牛顿路径只是最可能的路径，但不是唯一的路径。费曼利用数学技巧证明：这种描述虽然看上去令人吃惊，但它是精确地等价于普通的量子力学的。（事实上，费曼用这个方法可以推导出薛定谔波动方程。）

费曼的“路径和”的功能在于，今天当我们建立大统一理论（GUT）、膨胀理论，甚至弦理论时，我们采用费曼的“路径积分”观点。在全世界的每一个研究生院中现在教的就是这种方法，到目前为止它是最强大的、最便利的、描述量子理论的方法。

（我每天在自己的研究工作中都利用费曼的路径积分方法。我写的每个方程都是用路径积分写的。当我作为一名研究生第一次学习费曼的观点时，它改变了我的整个思想中对宇宙的描绘。在智力上，我懂得抽象的量子理论和广义相对论，但是在某种意义上，是“寻找”路径〔当我走过房间时寻找通往火星或遥远恒星的路径〕改变了我的世界观。突

然，我有了一个奇怪的生活在量子世界的幻觉。我开始认识到量子理论与相对论的空间时间弯曲有着很大的差异。）

当费曼建立这个奇异的公式时，惠勒正在普林斯顿大学，他匆忙地跑到隔壁的高等学术研究所去访问爱因斯坦，想让他相信这个新描述的美妙和能力。惠勒激动地向爱因斯坦解释费曼的“路径积分”的新理论。惠勒没有充分地认识到，对爱因斯坦来说这是多么的愚蠢。然后，爱因斯坦摇摇头，重复他的想法，他不相信上帝会与世界掷骰子玩。爱因斯坦向惠勒承认他也许是错的，但是他有权力错。



维格纳的朋友

大多数物理学家在面对让人心力交瘁的量子力学矛盾时都会耸肩膀表示绝望。对大多数科学家来说，量子力学是一套烹饪规则，产生有着惊人精度的正确概率。约翰·波尔金霍恩（John　Polkinghorne）先前是一位物理学家后来成为一名牧师，他说：“普通的量子技工和普通的电机技工一样都不是哲学家。”

然而，一些物理学领域最深刻的思想家却奋力解决这些问题。例如，有几种方式解薛定谔的猫问题。首先，诺贝尔奖获得者尤金·维格纳（Eugene　Wigner）和其他人提倡“意识决定存在”。维格纳（Wigner）曾经写道：“不考虑观察者的意识就不可能以完全一致的方式建立量子力学的定律……正是外部世界的研究得出人的意识是最高实在这个结论。”或者像诗人约翰·济慈（John　Keats）写的：“任何事情在经历之前都不能成为真实的。”

但是如果我在进行观察，又是什么确定我在什么状态呢？这意味着必须有别的人观察我，使我的波函数消失（坍塌）。有时把这种状况叫做“维格纳的朋友”。但是这也意味着必须有人观察维格纳的朋友，以及维格纳的朋友的朋友，等等。是不是有一个宇宙的意识在观察整个宇宙以确定整个朋友系列呢？

安德烈·林德（Andrei　Linde）是一位固执地相信意识起中心作用的物理学家，他还是宇宙膨胀理论的奠基人之一。他说：

> “对我这样一个人类的成员之一，在没有任何观察者的情况下，我不知道说宇宙是存在的有什么意义，宇宙和我们是一起的。当你说没有任何观察者的宇宙是存在的，我从中得不出任何意义。我不能想象一个不考虑意识的万物的一致理论。一个记录设备不能因为有人读记录设备上记录的东西而起到一个观察者的作用。为了让我们看到某事发生、彼此谈论某事发生，你需要有一个宇宙，你需要有一个记录设备，你还需要有我们……没有观察者，我们的宇宙是死的。”

根据林德（Linde）的哲学，恐龙化石在你看到它们之前并不实际存在。但是当你看到它们时，恐龙化石一跃而出，好像它们几十亿年前就存在了。（持这种观点的物理学家小心翼翼地指出，这个描述在实验上是和几百万年前恐龙化石所在的世界一致的。）

（有些人不喜欢将意识引进物理学，他们说照相机可以观察一个电

子，因此不需借助意识存在波函数就能坍塌。但是谁来说照相机是不是存在呢？需要另一个照相机来观察第一个照相机，使它的波函数坍塌。这样就需要第二个照相机来观察第一个照相机，第三个照相机来观察第二个照相机，如此等等。因此，引进照相机不能回答波函数怎样坍塌的问题。）



去相干

一个部分解决这些棘手的哲学问题的方法叫做“去相干”法，现在已在物理学家中间流行，它是德国物理学家迪特尔·策（Dieter Zeh）在1970年首先提出的。他注意到在真实世界中不可能把猫与环境分开。猫不断地接触空气分子、盒子，甚至通过实验的宇宙射线。这些相互作用，不管它多么小都迅速影响到波函数：如果波函数受到极其微小的扰动，那么波函数就会突然分成不再相互作用的死猫或活猫的两个截然不同的波函数。他指出：只要和一个空气分子碰撞就足以使它坍塌，迫使死猫和活猫的波函数永久分开，彼此不再沟通。换句话说，甚至在你打开盒子之前猫就与空气分子接触了，因此猫就已经是死的或是活的了。

策（Zeh）进行了关键的以前被忽略了的观察：要想让猫既是死的又是活的，死猫的波函数必须与活猫的波函数完全同步地振动，叫做“相干性”。但是这在实验上是几乎不可能的。在实验室产生一致的相干物体振动是极其困难的。（实际上，由于外部世界的干扰要想让几个原子相干振动都十分困难。）在真实世界里物体和环境相互作用，与外部世界的微小相互作用都能干扰这两个波函数，使它们“去相干”，即不再同步并分离。一旦这两个波函数不再彼此同相振动，策（Zeh）指出这两个波函数就不再相互作用。



多世界理论

去相干初听起来很满意，因为现在波函数的坍塌不需要通过意识，而是靠与外部世界的随机相互作用。但是这仍然没有解决困扰爱因斯坦的基本问题：自然界怎样“选择”波函数坍塌后进入什么状态呢？当一个空气分子打在猫身上，谁或什么决定猫的最后状态呢？关于这个问题，去相干理论只是说了这两个波函数分开了，不再相互作用了，但是没有回答原来的问题：猫是死的还是活的呢？换句话说，去相干使意识在量子力学中不再必要，但是没有解决困扰爱因斯坦的关键问题：自然界怎样“选择”猫的最后状态呢？关于这个问题，去相干理论没有回答。

然而，去相干理论的自然扩展解决了这个问题，今天也得到物理学家的广泛承认。这第二个方法是惠勒的另一个学生休·埃弗里特（Hugh Everett III）找到的。他讨论了猫在同一时间可能既死又活的概率，但是是在两个不同的宇宙中。当埃弗里特（Everett）的博士论文在1957年完成时，没有什么人注意到。然而，若干年后对“多世界”解释的兴趣开始增长。今天，对量子理论中的悖论的兴趣像浪潮一般重新涌现出来。

在这个透彻的新的解释中，猫既是死的又是活的，因为宇宙分成了两个。在一个宇宙中猫是死的，在另一个宇宙中猫是活的。事实上，在每一个量子的结合点宇宙分成两半，宇宙分裂的过程绝不会停止。在这种情景下所有的宇宙都是可能的，每一个宇宙都像别的宇宙一样真实。生活在每个宇宙中的人都会说他们的宇宙是真正的，其他的宇宙是想象的或虚构的。这些平行宇宙不是短命的鬼的世界，每个宇宙都有实际的物体和具体的事件，像别的宇宙一样真实和客观。

这种解释的优点是我们可以丢掉第三个条件，即波函数的坍塌。波函数绝没有坍塌，它们只是连续在演化，永远分裂成其他的波函数。就好像在一棵不断分杈的树中，每一个分杈代表一个完整的宇宙。多世界理论的最大优点是它比哥本哈根学派的解释要简单：它不要求波函数坍塌。付出的代价是现在需要将宇宙不断地分成几百万个分支。（有些人觉得很难理解怎样跟踪所有这些增生扩散的宇宙。然而，薛定谔波动方程可以自动完成这件工作。只要简单地跟踪波动方程的演变，我们就能立刻发现波动的所有的大量的分支。）

如果这个解释是正确的，那么就在此时此刻，你的身体与处在生死搏斗的恐龙的波函数共存。与你所在房间中共存的是另一个世界的波函数，在这个世界里德国赢得了第二次世界大战，在这个世界里外星人在漫游、你却从未在这个世界里诞生过。《高城堡中的人》和《暮光地带》的人所在的世界也包括在存在于你的卧室的各种世界之中。关键在

于我们不再能与他们互动，因为他们已经脱离了我们。

正如艾伦·古思说过：“存在一个‘猫王’埃尔维斯（Elvis）还活着的世界。”物理学家弗兰克·维尔切克（Frank Wilczek）曾写道：“因为我们知道有无限多个与我们稍有不同的世界正过着与我们平行的生活，我们知道每时每刻都有更多的世界出现并将占据我们的各种可供选择的将来，这些想法萦绕在我们的心间，让我们备受折磨。”他说过，如果特洛伊的海伦（Helen）不是这样美丽绝伦的话，如果她的鼻子上长有一个丑陋的疣的话，希腊文明的历史，以至西方世界的历史就会改写。他说：“好，疣可以起因于通常由于暴露在太阳的紫外线下所触发的单个细胞的转变。”他接着说，“结论是：有很多很多的世界，在这些世界中特洛伊的海伦的鼻尖上没有长疣。”

我想起了奥拉夫·斯特普尔顿（Olaf　Stapledon）经典科幻小说《造星人》（*Star　Maker*）中的一段话：“每当一个生灵面对几种可能的行动路线时，它采取所有的行动路线，因此创造了很多截然不同的宇宙历史。因为在宇宙演化的每一个进程中有很多生灵，而每个生灵又经常面对很多可能的路径，所以所有这些路径的结合是数不清的，结果无限多个截然不同的宇宙从每一个暂时的序列的每一个时刻脱离出来。”

根据量子力学的解释，所有可能的世界都与我们共存，认识到这一点让我们感到头晕目眩。尽管为了到达其他的这些世界也许需要虫洞，但是这些量子世界就存在于我们所住的这个房间里。无论我们走到哪，它们都和我们在一起。关键的问题是：如果这是真的，为什么我们看不见其他的这些世界充满我们的卧室呢？原因就是去相干：我们的波函数已经与其他的这些世界的波函数去相干（也就是说波动之间彼此不再同相）。我们不再与它们接触。这意味着即使是环境的轻微干扰也将阻止各种波函数彼此相互作用。（在第11章，我将提到这个规则的一个可能的例外，在这种例外的情况下，智能生命可以在各个量子世界之间旅行。）

这似乎不是太奇怪了吗？能让人相信这是可能的吗？诺贝尔奖获得者史蒂文·温伯格（Steven　Weinberg）把多元宇宙理论比做无线电。围绕我们周围有几百个不同的从遥远广播电台播出的无线电波。在任何给定的时刻，你的办公室、小汽车或卧室里充满了这些无线电波。然而，打开收音机，你每次只能听一个频率，其他的那些频率已经去相干了，不再彼此同相。每个广播电台有不同的能量和不同的频率。结果，只能将收音机一次调到一个台。

同样，在我们的宇宙中我们已“调到”与我们宇宙的物理现实相应的频率。但是有无限多个平行的宇宙与我们共存于同一个房间，尽管我们不能“调到”它们的频率。尽管这些世界看上去都很像，但每一个世界有不同的能量。因为每个世界由百万亿亿个原子构成，这意味着能量的差别会很大。因为这些波动的频率与它们的能量成正比（根据普朗克定律），这意味着每个世界的波以不同的频率振动，不再能相互作用。不

管是什么意图和目的，各种各样的这些世界的波不发生相互作用或相互影响。

令人惊讶的是，科学家利用这个奇怪的观点可以重新推导出哥本哈根学派的结果，而不需要波函数坍塌这个条件。换句话说，所做的实验不管是用哥本哈根学派解释，还是用多世界理论解释都能得到完全同样的结果。玻尔的波函数“坍塌”在数学上等价于环境的干扰。也就是说，如果能有办法将猫与外围环境的每个原子或宇宙射线隔离开，薛定谔的猫就可以同时是死的和活的。当然，这实际上是不可能的。一旦猫与宇宙射线接触，死猫和活猫的波函数就不再相干，看起来就好像波函数坍塌了一样。



万物源自比特

由于人们对量子理论中的测量问题重新产生了极大的兴趣，惠勒成了量子物理学的科学前辈，经常以他的声望出席众多的会议。对物理学中意识问题着迷的新世纪的倡导者甚至将他誉为领袖。（然而，他并不是总是对这样的参与感到高兴。有一次，他发现他与三位超心理学家被安排在同一个节目上，感到很丧气。他很快贴出一个声明，其中有这样一句话："在有烟的地方就会有烟。"）

在经过70年对量子理论的矛盾思索之后，惠勒是第一个承认不能得到所有答案的人。他总是对他的假设提出疑问。当有人问到量子力学中的测量问题时，他说："我只是被这些问题搞得发疯了。我承认有时我百分之百地相信世界是想象中虚构的事。有时我又相信世界是不依赖我们存在的。然而，我完全赞成莱布尼茨（Leibniz）说的话：'这个世界也许是一个幻觉，存在也许只是一个梦，但是这个梦或幻觉对我来说已足够真实了，如果很好地利用理智，我们就绝不会受它的欺骗。'"

今天，多世界理论和去相干理论得到物理学家的普遍赞同。但是，惠勒觉得麻烦的是它要求"太多的累赘"。他给予薛定谔的猫问题另一个玩笑般的解释。他把自己的理论叫做："它来自比特。"这是一个非正统的理论，出发点是假定信息是所有存在的根本。他声称：当我们看月亮、星系或一个原子时，它们的本质是储存在它们里面的信息。当宇宙观察它自己时这个信息展现出来。他画了一个圆圈，代表宇宙的历史。在宇宙开始的时候，由于被观察，它一跃而出。这意味着当宇宙的信息（"比特"）被观察后，宇宙物质出现。他把这个宇宙叫做"参与性宇宙"，即宇宙以我们适应它的方式也适应我们，也就是说我们的存在使得宇宙成为可能。（因为对于量子力学中的测量问题没有一个普遍的共识，很多物理学家对于信息是存在的根本的理论抱观望的态度。）



量子计算和心灵传输

这样的哲学讨论也许看上去是完全不切实际的，在我们的世界上没有任何实际应用。与多少天使能在大头针的钉帽上跳舞的争论不同的是，量子物理学似乎是在争论一个电子能同时处在多少位置。

然而，这些不是象牙塔式的学院中没有价值的空想。终有一天它们会有最实际的应用，能推动世界经济的发展。终有一天整个国家的财富将依赖薛定谔猫的奥妙。在那个时候，也许我们的计算机将在平行宇宙中计算。几乎我们所有计算机的基础结构都建立在硅晶体管的基础上。摩尔（Moore）定律说，每18个月计算机的能力增加一倍，因为我们能通过紫外辐射线在硅片上蚀刻越来越小的晶体管。尽管摩尔（Moore）定律使技术前景发生了革命，但不能永远继续下去。最高级的奔腾芯片一层有20个原子。在15至20年内，芯片的精度将达到每层5个原子。在这样难以想象的小距离上，我们不得不放弃牛顿力学，不得不采用以海森堡测不准原理为主导的量子力学。结果我们不再精确地知道电子在什么地方。这意味着当一个电子跑到绝缘体和半导体之外，而不是停留在它们之内时，短路将会发生。

在将来，在硅片上进行蚀刻将达到一个极限。硅的时代将很快结束。也许它将引来一个量子时代。硅谷（Silicon Valley）的兴旺将不再存在。有一天我们也许不得不靠原子进行计算，需要引进新的计算体系结构。今天的计算机是根据二进制系统，即每个数不是0就是1。然而，原子的旋转可以同时指向上、下或侧面。计算机的位数（0或1）可能被“量子比特”（qubit）（0和1之间的任何数）代替，使量子计算比普通计算要强大得多。

例如，一台量子计算机有可能动摇国际安全的基础。今天，大银行、跨国公司和工业国将他们的秘密用计算机逻辑编成密码。很多密码是根据将一个巨大的数分解为因数。例如，普通计算机分解一个100位的数需要几百年。但是对于量子计算机来说，这样的计算就轻而易举。它们能够破解世界各个国家的密码。

量子计算机的基本工作原理如下：将一系列原子对齐，它们的旋转在磁场作用下指向一个方向。然后将一个激光束打到它们上面，这样当激光束从原子反射出去时，很多原子的旋转（方向）就翻倒了。通过测量反射的激光就可以记录光离开原子散射的复杂的数学运算。如果按照费曼的方法利用量子理论计算这个过程，必须将在所有可能方向旋转的原子的所有可能的位置加在一起。甚至一个简单的量子计算也需要几分之一秒的时间，在普通计算机上进行这样的计算，无论花费多少时间都

几乎是不可能的。

在原则上，正如牛津大学的大卫·多伊奇（David Deutch）强调的，这意味着当我们使用量子计算机时，我们不得不将所有可能的平行宇宙加在一起。尽管我们不能直接与这些平行宇宙接触，量子计算机可以利用在平行宇宙中的旋转状态来计算它们。（虽然在我们的卧室里我们不再与其他宇宙相干，但是量子计算机中的原子，由于结构决定，却是和谐一致地振动的。）

尽管量子计算机的潜力确实是令人惊愕的，然而实际面临的问题也是非常多的。目前在量子计算机中所用的原子数量的世界记录是7个原子。现在在量子计算机上最多只能做到3乘5等于15，几乎不能给人什么深刻的印象。即便是要想让量子计算机与一台普通的笔记本电脑匹敌，也需要几百个原子，也许几百万个原子相干振动。因为甚至与一个空气分子碰撞都可能使原子去相干，因此必须有极其清洁的条件将量子计算机的原子与环境隔离。（要建造一台计算速度超过现代计算机的量子计算机需要几十亿个原子，因此量子计算仍然是几十年后的事情。）



量子心灵传输

物理学家看似毫无用途的有关平行量子宇宙的讨论将最终会有另一个实际的应用：量子心灵传输。在《星际迷航》（*Star Trek*）科幻小说中使用的“运输机”和另一个穿越空间运送人员和设备的科幻计划，似乎是一个快速飞过遥远距离的不可思议的方法。但是难住科学家的是心灵传输似乎违背了测不准原理。对一个原子进行测量就扰乱了原子的状态，因此就不能进行精确的复制。

但是，1993年科学家在这个争论中发现一个论点，他们用了叫做“量子纠缠”的某物。这是根据1935年爱因斯坦和他的学生和同事内森·罗森（Nathan Rosen）及鲍里斯·波多尔斯基（Boris Podolsky）提出的一个古老的实验（所谓的EPR悖论，爱因斯坦-波多尔斯基-罗森悖论），目的是想指出量子理论是多么不切合实际。在该实验中，爆炸使两个电子沿相反方向飞开，以接近光的速度传播。因为电子能够像陀螺一样旋转，假定两个电子的旋转是有相互关系的，即一个电子的旋转轴向下，另一个电子旋转轴向上（这样总的旋转动量为零）。然而，在测量之前，我们不知道每个电子旋转的方向。

等了几年之后，现在两个电子相距几光年。如果我们现在测量一个电子的旋转，发现它的旋转轴指向上，那么我们就会立刻知道另一个电子的旋转轴向下（反之亦然）。事实上，发现电子旋转轴向上的事实就迫使另一个电子旋转轴向下。这意味着我们一下子就知道了几光年以外的电子的情况。（信息似乎跑得比光速还要快，显然违背了爱因斯坦的狭义相对论。）通过微妙的推理，爱因斯坦指出通过对这一对电子的成功测量就违反了测不准原理。更重要的，他指出量子力学比以前任何人设想的要更离奇。

在那个时候以前，物理学家相信宇宙是局部的，即宇宙一部分的干扰只能从干扰源扩散到局部的地方。爱因斯坦指出量子力学基本上是非局部的，即从一个干扰源发出的干扰可以立即影响到宇宙的遥远部分。爱因斯坦把它叫做“远距离的幽灵作用”，他认为这是荒谬的。因此爱因斯坦认为量子理论一定是错误的。

（量子力学的批评者可以解决爱因斯坦-波多尔斯基-罗森〔EPR〕悖论，〔EPR，Einstein-Podolsky-Rosen〕他们认为，如果仪器十分灵敏的话，就能够真正确定电子的旋转方向。一个电子的旋转和位置的表观不确定性是虚构的，是由于测量仪器太粗糙造成的。他们引进一个叫做“隐藏变量”的概念，即一定有个隐藏的亚量子理论，根据这个新的隐藏变量，不确定性就完全不存在了。）

1964年，物理学家约翰·贝尔（John Bell）将爱因斯坦-波多尔斯基-罗森（EPR）悖论和隐藏变量放入酸性实验，引起了一场剧烈的争论。他指出，如果我们进行EPR实验，在两个电子旋转之间就应该有大量的相互关系，取决于利用什么理论。如果怀疑论者所相信的隐藏变量是正确的，两个电子的旋转以一种方式相干。如果量子力学是正确的，这些旋转以另一种方式相干。换句话说，量子力学（所有现代原子物理学的基础）的成立和失败将取决于这个实验。

但是实验最后证明爱因斯坦是错的。在20世纪80年代早期，法国的艾伦·阿斯佩克特（Alan Aspect）和他的同事用两个距离13米的检测器进行爱因斯坦-波多尔斯基-罗森（EPR）实验，测量从钙原子发出的光子的旋转。在1997年，用两个距离11千米的检测器进行EPR实验。每一次都是量子理论赢。某种形式的知识确实传播得比光速快。（尽管爱因斯坦在EPR实验上是错的，但他在超光速通讯的重要问题上是对的。EPR实验尽管让你立即知道星系另一侧的事情，它不允许你以这种方式发送消息。例如，你不能发送莫尔斯电码。事实上，“EPR传送器”只能发送随机信号，因为每次你测量旋转时，它们是随机的。EPR实验使你能获取星系另一侧的信息，但不允许你传送有用的信息，即不是随机的信息。）

贝尔（Bell）喜欢引用一个名叫贝特尔斯曼（Bertelsman）的数学家来描述这个效应。这位数学家有个奇怪的习惯：每天按随机顺序一只脚穿绿袜子，另一只脚穿蓝袜子。如果你有一天看到他左脚穿蓝袜子，你就立刻知道另一只脚穿的是绿袜子，比光速还快。但是知道并不等于允许你以这种方式传递信息。显示信息不等同于发送信息。EPR实验不意味着我们能够通过比光速还快的心灵感应或时间旅行来传递信息。但它确实意味着不能将我们与宇宙整体完全分开。

然而，它迫使我们对我们的宇宙持有不同的看法。在我们身体里的每一个原子和几光年距离以外的原子之间有一种宇宙“纠缠”。因为所有的物质来源于一次大爆炸，在某种意义上我们身体的原子与宇宙另一侧的某些原子最初在某种类型的宇宙量子网络中是连接在一起的。纠缠在一起的粒子有些像通过脐带（它们的波函数）连接的双胞胎，脐带或它们的波函数可以跨越几个光年。一个成员发生的事情自动影响到另一个成员，因此涉及一个粒子的知识可以立刻在另一个粒子中显示。纠缠在一起的一对物体的行为就好像是单个物体一样，尽管它们离开的距离可能很大。（更精确地说，因为大爆炸中粒子的波函数是曾经连在一起和相干的，大爆炸后几十亿年它们的波函数也许仍然部分地连在一起，结果一部分波函数中的干扰会影响远距离的另一部分波函数。）

1993年，科学家提出将爱因斯坦-波多尔斯基-罗森（EPR）纠缠概念作为量子心灵传输的机理。在1997和1998年，美国加利福尼亚理工学院、丹麦奥尔胡斯大学、英国威尔士大学的科学家做了首次量子心灵传输的演示，演示一个光子跨过一个桌面进行心灵传输。这个小组的一个成员，威尔士大学的塞缪尔·布朗斯坦（Samuel Braunstein）将纠缠

的一对光子比做情人：“它们心照不宣，即使离得很远也能心有灵犀一点通。”

（量子心灵传输实验需要三个物体，叫做A、B和C。令B和C为纠缠在一起的双胞胎。尽管B和C可以离得很远，它们仍然彼此纠缠。现在让B走过来接触A，A是要心灵传输的物体。B“扫描”A，即A中包含的信息传给B。这个信息然后自动传给了双胞胎C。这样，C成了A的精确的复制品。）

量子心灵传输的进展十分迅速。2003年，瑞士日内瓦大学的科学家做到了通过光纤电缆使光子心灵传输的距离达到1.2英里（1.93千米）。在一个实验室中波长为1.3毫米的光的光子与通过长光缆连接的另一个实验室中不同波长（波长1.55毫米）的光的光子进行心灵传输。这个项目的一位物理学家尼古拉斯·吉辛（Nicolas Gisin）说：“也许在我有生之年能够看到像分子这样的较大物体能够进行心灵传输，但是真正大的物体不能用可预测的技术进行心灵传输。”

另一个巨大的突破是在2004年完成的，那时美国国家标准和技术研究所（NIST）的科学家不只是心灵传输一个光量子，而是传输整个原子。他们成功地纠缠了三个铍原子，并能够将一个原子的特性传输给另一个原子，这是一个重大的成就。

量子心灵传输的潜在实际应用是巨大的。然而，应该指出的是量子心灵传输还存在几个问题。首先，在心灵传输过程中原来的物体被破坏了，因此你不能做被传输物体的复制品。只有一个复制是可能的。第二，物体传输的速度不可能比光速还快。即便是心灵传输，相对论仍然成立。（物体A到物体C的心灵传输需要通过中间物体B连接两者，结果传输比光速慢。）第三，大概量子心灵传输最重要的限制与量子计算面临的问题相同：涉及的物体必须是相干的。环境的轻微干扰将破坏量子心灵传输。但是可以相信在21世纪内有可能开始传输第一个病毒。

人类的心灵传输可能引起其他问题。布朗斯坦（Braunstein）评论说：“现在关键的问题是涉及的信息量太大。即便是我们目前能够想象的最好的通讯渠道，要传输所有的信息需要宇宙年龄那么长的时间。”



宇宙的波函数

当我们不只是将量子力学用于单个光子，也用于整个宇宙时，也许量子理论的最终实现将会到来。斯蒂芬·霍金（Stephen Hawking）被薛定谔的猫问题困扰了很久，他说：“每当我一听到猫，就想伸手掏枪。”他提出了他自己对这个问题的解决方案，找到一个整个宇宙的波函数。如果整个宇宙是波函数的一部分，那么就没有必要一定要有一个观察者（他必须存在于宇宙之外）。

在量子理论中，每个粒子都与一个波相连。这个波又反过来告诉我们在任何一点找到粒子的概率。然而，宇宙在它很年轻的时候比一个亚原子的粒子还小。因此，也许宇宙本身有一个波函数。因为电子可以同时处于很多状态，又因为宇宙曾经比一个电子还小，所以也许宇宙也同时存在很多由超级波函数描述的状态。

这是多世界理论的一个变种。它不需要调用能够一瞬间观察整个宇宙的观察者。但是霍金的波函数与薛定谔的波函数完全不同。在薛定谔的波函数中，空间时间中的每一点都有一个波函数。在霍金的波函数中，每一个宇宙有一个波。薛定谔的波函数（Ψ函数）描述电子的所有可能的状态，霍金引进的波函数（Ψ函数）代表宇宙的所有可能的状态。在普通的量子力学中，电子存在于普通的空间中。然而，在宇宙的波函数中，波函数存在于“超空间”中，即存在于惠勒引进的所有可能的宇宙空间中。

这个主要的波函数（所有波函数之母）不服从薛定谔方程（它只对单个电子成立），而是服从惠勒德威特方程（它对所有可能的宇宙成立）。在20世纪90年代早期，霍金写道：他能够部分解他的宇宙波函数，并指出最可能存在的宇宙是宇宙常数为零的宇宙。这篇文章引起相当多的争论，因为它依赖于所有可能宇宙的总和。霍金计算所有宇宙的总和时包括了连接我们的宇宙和所有可能的宇宙的虫洞。（想象漂浮在空气中的无限大的肥皂泡海洋，这些肥皂泡全都用细丝或虫洞连接，然后将所有的肥皂泡加在一起。）

最后，人们对霍金的雄心勃勃的方法产生了怀疑。有人指出，将所有可能的宇宙求和，在数学上是不可靠的，至少在得出指导我们的“万物理论”之前是这样。批评家争论说：在万物理论产生之前，人们不能真正相信有关时间机器、虫洞、瞬间大爆炸和宇宙波函数的任何计算。

然而，今天有很多物理学家相信：我们已经最终发现了万物理论，尽管还不是最终的形式。这个万物理论就是弦理论或M理论。这个理论

能让我们像爱因斯坦相信的那样“解读上帝的心思”吗？

第7章　M理论：所有弦理论之母

在一个能以统一观点把握宇宙的人看来，整个的造物过程就是一个具有唯一真理和必然发生的过程。

——J．达朗贝尔（J．D’Alembert）

我觉得我们已经那么接近弦理论，以至于，在我最乐观的时候，我不由得会幻想随便哪一天，这个理论的最终形式都会从天上掉下来，落在某个人的膝盖上。但是以更现实的态度来看，我觉得，我们现在正处于建立一种理论的过程之中，它比我们以前所做过的任何探索都要深刻得多，而且进入21世纪以后很久，在我老得没法对这个课题做任何有用的思考的时候，年轻一代的物理学家将不得不确认，我们是不是实际上已经发现了这个最终理论。

——爱德华·威滕（Edward Witten）

赫伯特·乔治·威尔斯（H．G．Wells）1897年的经典小说《隐身人》（*The Invisible Man*）以一段离奇的故事开始。在一个寒冷的冬日，外面天色昏暗，一个着装怪异的陌生人走了进来。他的脸完全遮盖着；他戴着一副深蓝色的墨镜，整个脸部都用白色的绷带绑着。

起先，村民们觉得他可怜，以为那是一次可怕的事故造成的。但是奇怪的事情在村里接二连三地发生。一天，他的房东太太走进他的空房间，看见衣服在自己走来走去，吓得大叫起来。她惊恐地向人诉说道，一顶顶帽子在房间里横飞，床单跳到空中，椅子在移动，就连“家具也发了疯”。

很快，整个村子里有关这类异常现象的流言四起。最后，一群村民聚拢来，追问这个神秘的陌生人。出乎他们的意外，这个人开始缓慢地解开他的绷带。这群人大惊失色。除去绷带之后，这个陌生人的脸完全看不见了。事实上，他是个隐身人。人们又叫又喊，乱成一团，村民们试图追打这个隐身人，但他轻而易举地就把他们打退。

犯了一系列小过失之后，隐身人认出了一位老相识，并把自己不同寻常的故事告诉了他。他的真名叫格里芬先生，来自大学学院。虽然他一开始是学医的，却偶然发现了一种革命性的方法，可以用来改变肌体的折射和反射特性。他的秘密就是那第四维度。他激动地大声告诉肯普博士：“我发现了一条通用原理……一个公式，一种涉及到四个维度的几何表现形式。”

可悲的是，他并不是想用这个伟大的发现来造福人类，而是想要抢劫和私下受益。他提出要把他这位朋友拉进来做同谋。他声称，他们两

人一起可以抢遍全世界。但这位朋友被吓坏了，并把格里芬先生的形迹报告了警察。由此发生了最后那场搜捕，在此过程中隐身人受了致命伤。

像所有最好的科幻小说一样，威尔斯的许多故事中都有一定的科学根据。任何一个人，如果他能有办法进入第四个空间维度（或者人们今天所说的第五维度，因为把时间看做是第四维度），他确实就能够隐形，甚至能够具备那些通常被认为只有鬼神才具备的能力。这会儿，先让我们来想象一种能够生活在像桌面那样的两维世界中的神秘生物，就像埃德温·阿博特（Edwin Abbot）1884年所写的小说《平面国》（*Flatland*）中所描述的那种。他们在其中生活，不知道在他们的身边有一个完整的宇宙，也就是有一个第三维度。

但是，如果一位“平面国”的科学家进行了一项试验，使得自己离开桌面哪怕几英寸，他就变成隐形的了，因为光线会从他的下面经过，就好像他不存在一样。稍稍浮起在“平面国”之上，他就能够看到事物在桌面上展开。悬浮在超空间，毫无疑问有其优越性，因为任何人，只要能够从超空间俯视下来，就能够具备神仙的能力。

不仅仅是光线可以从他的下面穿过，使他隐形，他还可以从其他物体上面穿过。换句话说，他可以随意消失，并且穿墙过壁。只需跳入第三维度，他就从“平面国”的宇宙中消失了。而如果他跳回桌面上，他立刻就能无中生有地再次显形。这样，他就可以从任何监狱中逃脱。在“平面国”中的监狱会是在囚犯四周画的一个圆圈，所以，只需简单地跳进第三维度就跳到监狱外面来了。

对于超空间的生灵而言，没有秘密可守。深锁在金库中的金子，从第三维度的有利视点可以一目了然，因为那个金库只不过是一个敞开的四方形。探进这个四方形中把金子提走而丝毫不打破金库就会容易得如同儿戏。做外科手术的时候，也不必割开皮肤。

同理，H．G．威尔斯所要传达的想法是，对于一个四维世界来说，我们就像“平面国”中的人一样，根本不知道更高层面上的生灵说不定就悬浮在我们的头顶。我们以为，我们所在的世界就是由一切我们看到的东西构成的，殊不知，就在我们的鼻子尖之上，可能存在着多少个完整的宇宙体系。虽然另一个宇宙可能就悬浮在我们头顶，近在咫尺，悬浮在第四维度中，但却是我们看不到的。

因为超空间的生灵会拥有超出人类之上，通常被说成是鬼神才具备的能力。在另一篇科幻小说中，H．G．威尔斯思索的一个问题，就是超自然的生灵是不是可能生活在更高的维度上。他所提出的一个关键性的问题，如今已成为人们大量研究和探索的课题：在这些高维度上，会不会有新的物理法则呢？在他1895年写的一部叫做《奇异的访问》（*The Wonderful Visit*）的小说中，一位牧师的枪走了火，偶然击中了一位碰巧路过我们这一维度的天使。由于宇宙中的某个原因，我们的维度临时

性地与一个平行宇宙相遇，使这位天使掉进了我们这个世界。在这个故事中，威尔斯写道：“说不定有不计其数的三维宇宙一个挨一个地挤在一起。”牧师向受伤的天使提问题。当他发现，我们的自然法则在那位天使的世界里不再适用时，他大为震惊。比如，在这位天使的宇宙中，没有平面，而是柱体，所以空间本身是卷曲的。（早在爱因斯坦的广义相对论之前整整20年，威尔斯就已经有了认为宇宙存在于弯曲面上的想法了。）正像那位牧师所说的那样：“他们的几何学与我们的不同，因为他们的空间是弯曲的，所以在他们那里所有的平面都是柱体；而且他们的引力定律不遵循平方反比定律（law of inverse squares），他们不是只有三原色，而是有二十四原色。”威尔斯写下他的故事以后，在一个世纪之后的今天，物理学家们意识到，新的物理法则可能真的存在于平行宇宙中，它们的亚原子粒子、原子以及化学相互作用都另有一套。（在第9章中我们将看到，现在正在进行若干项试验，探寻可能近在咫尺地悬浮在我们头顶的平行宇宙。）

超空间的概念激起了艺术家、音乐家、神秘主义者、神学家以及哲学家的好奇心，尤其是在接近20世纪开始的时候。根据艺术史家琳达·达尔林普尔·亨德森（Linda Dalrymple Henderson）的说法，巴勃罗·毕加索（Pablo Picasso）创造立体派是受到他对四维空间的兴趣的影响。（与此相似，俯视着我们的超空间的生灵也会看到我们的全貌：也就是说，可以同时看到我们的前后左右。）在萨尔瓦多·达利（Salvador Dali）的名画《基督的超立方体》（*Christus Hypercubus*）中，他把耶稣基督画成钉在一个解析开的四维立方体上，或称为“四维意义上的立方体”（tesseract）。在达利的油画《记忆的永恒》（*The Persistence of Memory*）中，他通过熔化的钟表，试图传达把时间视做第四维度的想法。在马塞尔·杜尚（Marcel Duchamp）的油画《下楼梯的裸体，作品2》（*Nade Descending a Staircase*[NO．2]）中，画的是一个裸体走下楼梯的延时过程，这是一种想要在二维画布上捕捉时间这一第四维度的又一次尝试。



M理论

今天，围绕着“第四维度”的神秘思想和传说重被提起，但却是由于一个截然不同的原因，即弦理论的发展，以及它的最新版本：M理论。在历史上，物理学家一直不屈不挠地抵制超空间的概念；他们嘲讽那些关于更高维度的想法，认为那是属于神秘主义者和骗子手的领域。认真提出可能存在不可见世界的科学家一直被人嘲弄。

由于M理论的出现，这一切都改变了。高维度问题现在处于物理学领域深刻革命的中心，这是因为物理学家不得不直面物理学今天所面临的最大问题：这就是广义相对论和量子理论之间的鸿沟。格外引人注目的是，这两个理论在最根本的层面上构成了我们对宇宙的所有物理学知识的总和。目前，只有M理论有能力把这两个伟大的、貌似矛盾的宇宙论统一为一个连贯的整体，用以创立一个“万有理论”。在20世纪提出的所有理论中，唯一有可能像爱因斯坦所说的那样“解读上帝的心思”的理论，就是M理论。

只有在有10个或11个维度的超空间中，我们才能具备“足够的容积”，把所有的自然力统一到单独一个精巧的理论中。这样一个神奇的理论将能够回答这样一些永恒的问题：在时间开始之前发生了什么？时间可以逆转吗？维度通道能够带我们穿越宇宙吗？（虽然持批评态度的人说得不错，要对这个理论进行测试，超出了我们目前的试验能力，但现在正计划进行几个试验，如果成功，可能会改变这个局面。我们将在第9章谈这个问题。）

过去50年中，为创立一个真正统一的理论来描述宇宙，所做的一切尝试最终都很不体面地失败了。从概念上来讲，这很容易理解。广义相对论与量子理论在几乎所有方面都恰恰相反。广义相对论是最宏观事物的理论：如黑洞、大爆炸、类星体，以及正在膨胀的宇宙。它的基础是平滑表面的数学，就像床单和网状蹦床那样。量子理论正相反：它描述的是最微观的世界，如原子、质子和中子，以及夸克。它是基础，是一种称做量子的离散包理论。与相对论不同，量子理论声称，我们所能计算的，只有事件的概率，因此我们永远不可能确切地知道一个电子究竟在什么位置上。这两个理论的基础，在数学、假说、物理学原理和涉及的领域方面都不一样。难怪所有想把它们统一起来的尝试都举步维艰。

物理学巨匠，例如追随过爱因斯坦的埃尔温·薛定谔、沃纳·海森堡、沃尔夫冈·泡利及亚瑟·爱丁顿，都曾在统一场理论方面一试身手，但到头来都失败得很惨。1928年，爱因斯坦以他早期版本的统一场理论，偶然引发了一场媒体炒作。《纽约时报》甚至发表了这篇论文的一些章节，

包括他所列的一些方程式。一百多名记者蜂拥挤在他家门外。远在英格兰的爱丁顿写信给爱因斯坦，评论说：“在伦敦我们一家最大的百货商场（塞尔福里奇百货〔Selfridges〕），你的论文被贴在橱窗中（6页紧挨着粘贴），好让过路行人从头到尾读上一遍，我想你听了一定会发笑。大批的人群聚在一起读这篇论文。”

1946年，埃尔温·薛定谔也犯了个错，以为他发现了传说中的统一场理论。仓促之间，他办了一件在他那个时代不大寻常的事（但如今却也算不上不寻常了）：他召开了一次记者招待会。连爱尔兰首相埃蒙·德·瓦莱拉都到场听薛定谔演讲。当有人问道，你怎么能确定你已经最终捕捉到了统一场理论时，他回答说：“我相信我是对的。假如我错了的话，我岂不成了个十足的傻瓜。”（《纽约时报》最终发表了有关这次记者招待会的报道，并把手稿邮寄给爱因斯坦和其他人，请他们评论。爱因斯坦遗憾地发现，薛定谔只是再发现了他几年前提出的、后来又抛弃掉的旧理论。爱因斯坦很委婉地作了答复，但薛定谔还是丢了面子。）

1958年，物理学家杰里米·伯恩斯坦（Jeremy Bernstein）在哥伦比亚大学听了一个演讲，由沃尔夫冈·泡利讲解他那一个版本的统一场理论，这是他与沃纳·海森堡一起发展起来的。尼尔斯·玻尔当时在听众席中，对这个报告不以为然。最后，玻尔站起来说：“我们在后排的人一致确认，你的理论是个疯狂的理论。但对于你的理论是否够得上足够疯狂，我们之间还有分歧。”

泡利立刻就明白了玻尔的意思：海森堡泡利理论太一般了，太普通了，不可能成为统一场理论。要“解读上帝的心思”意味着要引进从根本上不同的数学方法和思想。

许多物理学家都确信，在世间万物背后存在着一种简单精巧而无法否认的理论，但它同时又是“疯狂”且“荒谬”至极，而且正因为如此才是真真确确的。普林斯顿大学的约翰·惠勒（John Wheeler）指出，在19世纪，要想对地球上发现的多种多样的生命形式做出解释似乎是没有希望的。但后来查尔斯·达尔文提出了自然选择学说，就是这样一个单一的理论，提供了用以解释地球上一切生命的起源及多样化原理的构架。

诺贝尔奖获得者史蒂文·温伯格（Steven Weinberg）采用了另一种推理方法。在哥伦布之后，在详细记载了早期欧洲探险者勇敢足迹的地图上，强烈地显示了一定存在一个“北极”，但就是没有直接证据证明它的存在。因为描绘地球的每一张地图都显示出了一个巨大的空当，北极应该就位于那块地方。早期探险家们以此断定应该存在一个北极，尽管他们之中谁也没有到访过那里。与此相像的是，今天的物理学家像早期的探险家一样，发现了大量的间接证据，指向存在着一个万有理论，尽管目前对于这个理论究竟是个什么样，还没有一个普遍一致的共识。



弦理论的历史

有一个理论显然“疯狂”到了“足以”成为统一场理论的程度，这就是弦理论，或M理论。在物理学的编年史中，弦理论的历史可能是最为怪诞的了。它的发现相当偶然，又被应用于不该用它解决的问题上，于是被弃置一边默默无闻。但它突然间又冒了出来，作为一种万有理论。而且到头来，由于只要对它做一些微小的调整就会破坏这个理论，所以它不是成为一个“万有理论”，就是成为一个“万无理论”。

它之所以有这样一段奇怪的历史，是因为弦理论是倒着演进的。正常情况下，在像相对论那样的理论中，人们首先从基本的物理原则着手，然后再把这些原则打磨成一套基本的经典方程式，最后，人们计算对应于这些方程式的量子涨落。弦理论是倒着展开的，是从它的量子理论被偶然发现开始的；对于什么样的物理原理才能指导这个理论，物理学家们至今迷惑不解。

弦理论的起源要追溯到1968年，当时在日内瓦的欧洲原子核研究委员会（CERN）原子核实验室的两名青年物理学家，加布里埃莱·韦内齐亚诺（Gabriele Veneziano）和铃木真彦（Mahiko Suzuki）正自己翻阅一本数学书，偶然发现了欧拉的贝塔函数。这是由莱昂哈德·欧拉（Leonhard Euler）在18世纪发现的一个晦涩的数学表达式，它给人一种奇怪的感觉，似乎在描述亚原子世界。他俩惊讶地发现，这个抽象的数学公式似乎是在描述两个π介子在巨大的能量下碰撞的情形。这个“韦内齐亚诺模型”很快在物理学界引起了不小的轰动，足足出现了几百篇论文试图对它进行归纳概括，用以描述各种核作用力。

换句话说，这个理论纯粹是偶然发现的。普林斯顿大学高等学术研究所的爱德华·威滕（Edward Witten）（许多人都相信，是他创造性地推进了这个理论所取得的许多令人惊叹的突破）说过：“照理说，20世纪的物理学家本不应有研究这一理论的殊荣。照理说，弦理论现在还不能够被发明出来……”

弦理论所造成的轰动我至今还历历在目。当时，我还是加利福尼亚大学伯克利分校的一个物理学研究生。我记得看见物理学家们连连摇头，声称物理学本不应是这个样子。过去，物理学的基础通常是要对自然现象进行极为烦琐细致的观察，形成一些局部性的假说，比照着数据小心翼翼对所得出的想法进行测试，然后不厌其烦地、一遍又一遍地重复这个过程。而弦理论则是个“灵机一动”的方法，靠的仅仅是对答案进行猜测。如此简便快捷，到了令人心惊肉跳的地步，怎么可能会是这样呢？！

由于即使动用我们最强大的仪器也看不见亚原子粒子，物理学家们就采用了一种虽然粗暴却很有效的方法来对它们进行分析，用巨大的能量来把它们打碎。耗费了几十亿美元来建立巨大的“原子击破器”或称粒子加速器，个个都有好几英里长，能够产生互相迎头撞击的亚原子粒子束。然后物理学家对碰撞后的碎块进行周详的分析。这个不胜其烦的痛苦过程的目的，是要建立一系列的数据，称为“散射矩阵”，或“S矩阵”。这个数据采集过程有关键作用，因为它可以把所有的亚原子物理信息编集起来，也就是说，一旦了解了S矩阵，就可以推论出基本粒子的所有特性。

基本粒子物理学的目标之一，就是要为强相互作用预测出S矩阵的数学结构。这个目标极其艰巨，一些物理学家甚至认为它已超出了任何已知的物理学范围。而韦内齐亚诺和铃木真彦只是翻看了一本数学书就猜到了S矩阵，由此造成的轰动可想而知。

这个模型与我们迄今为止所见到过的任何东西都完全不同。一般情况下，当有人提出一个新理论的时候（例如夸克），物理学家就试图对这个理论进行一些修修补补，改变一些简单的参数（例如粒子的质量或耦合强度）。但是韦内齐亚诺模型编制得如此精致，哪怕稍稍改动一下它的基本对称关系，就会使整个公式作废。就像一件制作精美的水晶工艺品，任何改变它的形状的努力都会使它破碎。

那数百篇论文虽然都只是对它的参数做了一些微不足道的修改，却已经摧毁了它本来的美，而且至今一个也没能经受住考验。为数不多的几篇现在还能让人想得起来的论文，都是那些想要理解这个理论为什么居然有效的，也就是那些试图揭示其对称性关系的论文。物理学家们最终认识到，原来这个理论根本没有任何可调整的参数。

虽然韦内齐亚诺模型是个非凡卓越的模型，但它也还有若干问题。首先，物理学家们发现，它只不过是最终的S矩阵的一个初步近似模型，而非全貌。当时在威斯康星大学的崎田文二（Bunji Sakita）、米格尔·维拉索罗（Miguel Virasoro）和吉川圭二（Keiji Kikkawa）意识到，S矩阵可以被看做是一个无穷项级数（infinite series of terms），而韦内齐亚诺模型只是这个级数中第一个也是最重要的一个项。（粗略而言，这个级数中的每个项所代表的是粒子可以有多少种彼此碰撞的方式。他们设定了一些规则，用它们可以近似地建立起更高的项。我在写自己的博士论文时，决心把这个项目严谨地完成，对韦内齐亚诺模型做一切可能的修正。我和我的同事L．P．于〔L．P．Yu〕一起，对该模型修正项的无穷集进行了计算。）

最后，芝加哥大学的南部阳一郎（Yoichiro Nambu）和日本大学的后藤哲夫（Tetsuo Goto）发现了这个模型得以成立的一个关键特性，它的振动着的弦（vibrating string）。（莱昂纳德·萨斯坎德〔Leonard Susskind〕和霍尔格·尼尔森〔Holger Nielsen〕也沿着这些线索进行了研究。）当一根弦与另一根弦发生碰撞时，它就会产生出一个韦内齐亚

诺模型所描述的S矩阵。在这个场景中，每个粒子都只是一个振动，或是弦上的一个音符，别的什么都不是。（后面我会详细阐述这个概念。）

进展非常快。1971年约翰·施瓦茨（John Schwarz）、安德烈·内沃（Andre Neveu）和皮埃尔·雷蒙德（Pierre Ramond）对弦模型进行了归纳整理，使它有了一个新的叫做“自旋”的量值，这样它就成为粒子相互作用的实实在在的候选方案了。（就像我们将要看到的那样，所有亚原子粒子看起来都像微型陀螺一样地自旋着。每个亚原子粒子的自旋量，以量子单位来计算的话，如果不是像0，1，2那样的整数的话，就是像1/2，3/2那样的半整数。令人叫绝的是，内沃-施瓦茨-雷蒙德〔Neveu-Schwarz-Ramond〕弦给出的正是这种自旋模式。）

不过我对此仍然不满足。这个“双共振模型”，这是那时人们称呼它的名字，是一些零散的公式和一般经验规则的松散集合。在那之前的150年间，全部物理学都是以各种“场”为基础的，这个概念最初是由英国物理学家迈克尔·法拉第（Michael Faraday）提出的。试想由条形磁铁造成的磁场线。力作用线就像蜘蛛网一样遍布全部空间。在空间中的每一个点上，你都可以对磁力线的强度和方向进行测量。与此类似，“场”是一个数学客体，在空间中的每一个点上都有不同的值。如此，场的概念是用来测量宇宙中任何一个点上的磁力、电力或核作用力的强度的。由于这个原因，对电力、磁力、核作用力和引力的基本描述都是建立在场的概念上的。对于弦来说，有什么理由不一样呢？当时需要的是一种“弦的场论”，有了它，就可以把这个理论的全部内容归纳到单独一个等式中去了。

1974年，我决定解决这个问题。我和我的同事，大阪大学的吉川圭二一起成功地演绎出了弦的场论。我们用一个不到一英寸半（3.8厘米）长的方程式[10]，就可以把弦理论中包含的所有信息都归纳进去。弦的场论用公式表达出来之后，我必须使物理学界的大部分人信服它的力量和美感。那年夏天，我在科罗拉多州的阿斯彭（Aspen）中心参加了一个理论物理学会议，并给一小群经过挑选的物理学家作了一次讲座。我当时相当紧张：在场的有两位诺贝尔奖获得者，他们是默里·盖尔曼和理查德·费曼，他们擅长提出尖刻的问题，在这方面是出了名的，经常弄得讲演者下不来台。（有一次，史蒂文·温伯格在作一个讲演，他在黑板上画了一个角，标上字母W，这叫温伯格角，是以他的名字命名的。费曼这时就问，黑板上的这个“W”代表的是什么。温伯格刚要回答，费曼就大声喊道：“错！”〔英文中“错”的第一个字母就是“W”。——译者注〕会场上一片笑声。费曼也可能博得了听众一笑，但笑到最后的还是温伯格。这个角代表的是温伯格理论中的一个关键部分，这个理论把电磁相互作用和弱相互作用统一了起来，就是因为这个理论，后来使温伯格赢得了诺贝尔奖。）

我在演讲中强调，弦的场论可以为弦理论提供最简单、最有综合性的途径，在这之前，弦理论基本上是五花八门的一堆互相脱节的公式。

有了弦的场论，整套理论就可以归纳进单独一个大约一英寸半（3.8厘米）长的等式中去，也就是说，韦内齐亚诺模型的所有特性、无穷扰动近似（infinite perturbation approximation）中所有的项，以及自旋弦的一切特性，都可以从一个简短得可以装到一块饼干里去的等式中推导出来。我强调了弦理论的对称之美，是这种对称之美赋予了它美感和力量。当弦在时空中移动的时候，它们会拖出一条条像带子一样的二维表面。不论我们用什么样的坐标系来描绘这种二维表面，这个理论都保持不变。我永远也忘不了，当时我讲完以后，费曼走到我面前说：“我也许不能完全同意弦理论，但你所作的演讲是我所听过的讲演中最美的之一。”



10个维度

但是弦理论刚刚起步不久，就很快地解体了。罗格斯大学的克劳德·洛夫莱斯（Claude Lovelace）发现，原有的韦内齐亚诺模型中有一个细微的数学瑕疵，除非空间-时间有26个维度，否则无法消除。与此相似，内沃、施瓦茨和雷蒙德的超弦模型也只有在具备了10个维度的情况下才可能存在[11]。这一发现使物理学家们震惊。在整个的科学史中，以前从没听说过有这样的事。在其他任何领域里，我们都不会发现有哪个理论需要挑选适合于它自己的维度。例如，牛顿和爱因斯坦的理论在任何维度中都可以成立。例如，著名的引力平方反比定律在四维空间中可以归纳为一个立方反比定律（inverse-cubelaw）。然而弦理论却只能存在于特定的维度中。

从实际应用的角度来看，这是个灾难性的打击。所有人都相信，我们这个世界存在于三个空间维度（长、宽、高）和一个时间维度中。如果接受一个有10个维度的宇宙的话，那就意味着这个理论简直是科幻小说了。弦理论家们由此成了人们的笑柄。（约翰·施瓦茨记得一次理查德·费曼在电梯里开玩笑地对他说："对了，约翰，今天你在多少个维度中生活？"）但是，无论弦物理学家们如何努力去拯救这个模型，它还是很快地消亡了。只有一些死硬派还在继续研究这个理论。那是一段孤军奋战的时期。

在那些个惨淡年月中，有两个坚持研究这项理论的死硬派，一个是加利福尼亚理工学院的约翰·施瓦茨（John Schwarz），还有一个是巴黎高等师范学校的若埃尔·舍尔克（Joël Scherk）。到那时为止，人们认为弦模型只是用来描述强核相互作用的。但这里面有个问题：该模型预言了一种粒子，而它在强相互作用中没有出现，这是个古怪的粒子，它的质量是零，却拥有两个量子单位的自旋。所有试图摆脱这个恼人粒子的努力都归于失败。每次要想消除这个自旋为2粒子的时候，模型就坍塌了，失去了它的神奇特性。不知怎的，这个不招人待见的自旋为2粒子好像藏着整个模型的秘密。

于是舍尔克（Scherk）和施瓦茨（Schwarz）大胆地猜测，这个瑕疵也许实际上能带来好运。如果他们把这个纠缠不清的自旋为2粒子解释为引力子（从爱因斯坦理论中产生出来的引力粒子），那么这个理论实际上就纳入到爱因斯坦的引力理论中去了！（换句话说，爱因斯坦的广义相对理论只是作为超弦的最低层振动或音符而出现的。）具有讽刺意味的是，在其他量子理论中，物理学家们都极力避而不谈引力，而弦理论却恰恰要用到引力。（实际上，这正是弦理论吸引人的特性之一，即它必须包含引力，否则这个理论就讲不通。）由于有了这样大胆的一

跃，科学家们意识到，原来弦模型是被错误地用错了地方。它本来就不仅仅是个强核相互作用的理论，相反，它是一个万有理论。正如威滕（Witten）强调过的那样："弦理论极其吸引人，因为它把引力硬塞给了我们。所有已知的能够说得通的弦理论中都包含引力。当我们所知道的量子场理论根本容不下引力的时候，在弦理论中它却是不可或缺的。"

然而，舍尔克（Scherk）和施瓦茨（Schwarz）最有影响的想法却被所有人都忽视了。如果要用弦理论来既描述引力又描述亚原子世界的话，那就意味着那些弦只能有10-33厘米长（即普朗克长度）；换句话说，它们比质子还要小许多，只有质子的十亿倍的十亿分之一。对于大多数物理学家来说，这是难以接受的。

但是在20世纪80年代中期之前，其他尝试建立统一场理论的努力都已乱了阵脚。那些天真地想要把引力添加到标准模型上的理论都陷入了超位数的泥潭（我很快就会讲到）。每次只要有人想人为地把引力与其他量子力结合起来的时候，就会出现数学矛盾，把这个理论枪毙掉。（爱因斯坦相信，也许上帝在创造这个宇宙的时候没有其他选择。之所以会这样，可能是因为只有一个理论能够避免所有这些数学矛盾。）

这类数学矛盾有两种。第一种是超位数问题（problem of infinities。或无穷大问题。——编者注）。通常情况下，量子涨落是非常微弱的。量子效应只是对牛顿的运动定律有一点小修正。这就是为什么在多数情况下，我们可以在宏观世界中忽略它们，因为它们太微弱了，觉察不到。但是，当把引力转换成量子理论以后，这些量子涨落居然变为无穷大，这是毫无道理的。第二个数学矛盾与"异常条件"（anomalies）有关，这是说，当我们把量子涨落加进一个理论中去的时候，这个理论就会发生一些小的失常现象。这些异常条件破坏了理论原来的对称性，从而使它失去其原有的力。

例如，我们可以想象一位火箭设计师，他必须要设计一艘光滑的流线型的飞船，用以穿过大气层。火箭必须非常对称，这样才能减少空气摩擦和阻力（这里指的是圆柱对称性，也就是，当我们在它的轴线上转动火箭时，它始终都是同一个形状；这种对称性被称为O（2））。但是有两个潜在的问题。首先，由于火箭的速度非常高，机翼中会发生振动。对于亚音速飞机来说，这种振动相当小。然而以远远超过音速的速度飞行时，这种波动会越来越强，最终把机翼撕扯掉。类似的发散现象（divergences）不断困扰着任何一种量子引力理论[12]。一般情况下，它们小到可以被忽略不计，但在量子引力理论中它们就当场发作。

飞船的第二个问题是，船体上可能会出现微小的裂纹。这些瑕疵都使飞船失去其原有的O（2）对称性。尽管这些瑕疵非常微小，但它们会漫延到最终使飞船解体。同样的道理，这类"裂纹"也能破坏引力理论的对称性。

有两种方法可以解决这些问题。第一种方法是找到一些头痛医头、

脚痛医脚式的解决方案，例如用胶把裂纹补一补，用棍子支撑着把机翼加固，希望火箭不要在大气层中爆炸。历史上，大多数试图把量子理论与引力结合起来的物理学家采用的都是这种方法。他们想把这两个问题糊弄过去。第二种方法是推倒重来，采用新的外形，以及能经受住宇宙航行中巨大压力的新颖材料。

物理学家们耗费了几十年的时间，试图拼凑起一个量子引力理论，到头来只是发现它千疮百孔，充满了数不清的发散现象和异常条件。慢慢地，他们意识到，解决的办法可能应该是放弃这种头痛医头、脚痛医脚的方式，而采用一种全新的理论。[13]



弦之浪潮

1984年，反对弦理论的态势突然掉转了方向。加利福尼亚理工学院的约翰·施瓦茨和伦敦女王学院的迈克·格林（Mike Green）证明，以往曾置那么多理论于死地的所有那些数学矛盾，在弦理论中全都不存在。那时，物理学家们已经知道，弦理论中不存在数学发散。但是施瓦茨和格林证明，弦理论中也没有异常之处（anomalies）。于是，弦理论成了万有理论的首要候选理论（到了今天，它已成了唯一的候选理论）。

刹那间，一项以往被认为基本没有生命力的理论又死而复生了。弦理论一下子从一个什么都不是的理论，变成了一个可以包罗万象的理论。许多物理学家奋力阅读起弦理论方面的论文。研究论文像雪片一样地从世界各地的研究实验室飞出来。图书馆里尘封已久的过去的论文一下子成了物理学中最热门的话题。平行宇宙的想法过去被认为过于离谱，现在则站到了物理学界的中心讲坛上，召开了几百次会议，就这个题目所写的论文毫不夸张地说有几万份。

（有几次，由于一些物理学家得了"诺贝尔热病"，事情发展得出了格。1991年8月，《发现》杂志甚至在其封面上爆出这种耸人听闻的标题——"新发现的万有理论：一名物理学家解决了宇宙的终极之谜。"该篇文章援引一位热衷于沽名钓誉的物理学家之说，"我不是那种讲究谦虚的人。如果这次成功的话，可以够得上诺贝尔奖了。"他夸口道。当有人批评说，弦理论还只是处于襁褓期，他反唇相讥道："弦理论中那些最权威的人士说，还需要400年才能证实弦理论，但我要说，他们应该闭嘴。"）

一轮淘金热上演了。

结果，引来了对"超弦浪潮"的反弹。正如一位哈佛大学的物理学家所讥讽的那样："对弦理论的探索，如果不在哲学系甚至宗教系进行的话，至少应该限于数学系。"哈佛大学的诺贝尔奖获得者谢尔登·格拉肖（Sheldon Glashow）打头阵，他把超弦浪潮与星球大战计划相提并论（这项计划耗费了大量的资源，却从来没有测试过）。"我非常高兴，我有这么多的年轻同事都在研究弦理论。"他说，"因为这是一个真正有效的办法，让我眼不见心不烦。"当有人问他，对威滕所说的，弦理论有可能在今后50年中主导物理学，就像量子力学在过去50年所占的主导地位一样，他有什么看法时，他说："弦理论主导物理学的方式会像卡鲁扎-克莱恩（Kaluza-Klein）理论（他认为这个理论是乖谬的）在过去50年中主宰物理学的情况一样。这也就是说，丝毫主宰不了。"他是想把弦理论挡在哈佛大学门外。但是，随着新一代物理学家转而研究弦理论，即

使这孤独的声音出自一位诺贝尔奖获得者，也很快被淹没了。（哈佛大学从那以后聘用了若干位年轻的弦理论学者）。



宇宙的音乐

爱因斯坦有一次说，一项理论所做的物理学描述如果不能做到连小孩子都能懂，那它可能就是个没用的理论。侥幸的是，弦理论背后就是个简单的物理学描述，它的基础是音乐。

根据弦理论，如果你有一架超级显微镜，可以用来窥探到电子的中心去，那你所看到的不会是一个点状的粒子，而是一根振动着的弦。（这根弦非常之微小，只有10^{-33}厘米这样一个普朗克长度，只有质子的十亿个十亿分之一，由于这样小，所以所有的亚原子粒子看起来都像个点。）如果我们弹拨这根弦，它的振动就会发生变化；这个电子说不定会变成一个中微子。再弹拨一下，它说不定会变成一个夸克。事实上，如果你用合适的力度来弹拨它，它会变成任何一种已知的亚原子粒子。就是以这种方式，弦理论可以毫不费力地解释为什么有如此多的亚原子粒子。在超弦上没有别的，只有可以弹拨出来的各种不同的“音符”。做一个类比来说，在小提琴上，A调、B调或升C调都不是本质所在。只要简单地用不同的方式弹拨这根弦，就可以发出音阶中所有的音。比如，降B调并不比G调更具什么本质性。它们都只不过是小提琴弦发出的音符而已，别的什么都不是。同样，电子和夸克都不是具有本质性的东西，弦才是本质性的东西。事实上，宇宙中所有的亚粒子都可以被视为弦的各种不同振动，别的什么都不是。弦上所发出的各种“和弦”就构成各种物理学定律。

弦可以通过拆分和再对接的方式进行相互作用，由此产生我们在原子中所看到的电子和质子之间的相互作用。就这样，通过弦理论，我们可以再现所有的原子和核物理定律。可以写在弦上的“旋律”相当于化学定律。现在，我们就可以把整个宇宙看成一首气势恢弘的弦乐交响曲了。

弦理论不仅可以把量子理论中的粒子解释为宇宙的音符，它也同样可以解释爱因斯坦的相对论——它是弦的最低振动，零质量的自旋为2粒子可以被解释为引力子（graviton），也就是引力的粒子或量子。如果我们计算一下这些引力子的相互作用，我们发现它正是以量子形式表达的爱因斯坦的旧的引力论。随着弦的移动、拆解和重组，它会对空间时间造成巨大的约束力。当我们对这些约束因素进行分析时，我们又一次发现了爱因斯坦原来的广义相对论。这样，弦理论可以严丝合缝地解释爱因斯坦的理论，没有额外的工作要做。爱德华·威滕（Edward Witten）说过，即使爱因斯坦没有发现相对论，他的这个理论也还是有可能被作为弦理论的一个副产品而被发现出来。广义相对论从某种意义上来说可以随手捡来。

弦理论的美，在于它可以比喻成音乐。音乐提供了一种比喻，我们既可以从亚原子层面上，也可以从宏观宇宙层面上用它来理解宇宙的性质。正如著名小提琴家耶胡迪·梅纽因（Yehudi Menuhin）一次写道的那样："音乐是乱中求序的，因为节奏在各行其是中加进了步调一致；旋律使相互脱节的东西前后贯穿；而和弦则从本不相同的东西中找出匹配。"

爱因斯坦也许会写道，他对统一场论的探索最终会使他得以"解读上帝的心思"。如果弦理论是正确的，那么我们现在已经看到，上帝的心思就是在10个维度的超空间里回荡着的宇宙音乐。正如戈特弗里德·莱布尼茨（Gottfried Leibniz）有一次说的："音乐是灵魂所做的变相的数学练习，连它自己都不知道正在进行演算。"

历史上，音乐与科学之间的联系早在公元前5世纪就已经铸就了，当时希腊的毕达哥拉斯派（Pythagoreans）发现了和声定律，并把这些定律简化为数学。他们发现，拨动七弦琴的琴弦所发出的音调与其长度相对应。如果把琴弦加长一倍，则音调就会降低整整一个八度。如果把琴弦缩短三分之二，则音调就会改变五度。这样，音乐与和弦的定理可以简化为精确的数字关系。难怪毕达哥拉斯派的座右铭是"万物皆是数字"。起初，他们对这项结果非常满意，以至于大胆地将这些和声定理应用到整个宇宙。但由于物质是极其复杂的，他们的这种努力失败了。然而，从某种意义上，有了弦理论以后，物理学家们就圆了毕达哥拉斯派的梦。

在对这个历史关联做评论的时候，杰米·詹姆斯（Jamie James）有一次说道："音乐与科学曾（一度）被看成是极度密不可分的，谁要敢说它们之间有任何本质区别就会被视为无知，（但现在）如果有人想说它们之间有什么共同点的话，有些人就会说他是不懂装懂，另一些人会说他是附庸风雅，更有甚者，两拨人都会说他是蹩脚的通俗作家。"



超空间中的问题

但是如果更高维度确实在自然界中存在，而不是仅仅存在于纯数学中，那么弦理论家们就必须要面对早在1921年就困扰着希奥多尔·卡鲁扎（Theodr Kaluza）和菲利克斯·克莱恩（Felix Klein）的同样的一些问题，那时他们建立了世界上第一个高维度理论：这些高维度存在于什么地方？

卡鲁扎，过去是个默默无闻的数学家，给爱因斯坦写了一封信，建议用五个维度（一个时间维度和四个空间维度）来构建爱因斯坦的方程式。从数学上来讲，这不成问题，因为爱因斯坦那些等式以任何维度都可以写得面面俱到。但是那封信中包含了一项令人吃惊的发现：如果人为地把这一个五维方程式中所包含的那些四维部分分离出来，你会自然而然地发现麦克斯韦的光理论，简直像变魔术一样！换句话说，只要我们简单地加上一个第五维度，麦克斯韦的电磁力理论就从爱因斯坦的引力方程中脱颖而出了。虽然我们看不见第五维度，但第五维度可以形成波纹，而它们是与光波对应的！这是个皆大欢喜的结果，因为在过去的150年中，一代又一代的物理学家和工程师都不得不死背艰涩的麦克斯韦方程式。而现在，这些复杂的方程式轻而易举地就从第五维度中我们可以找到的最简单的振动中显现了。

想象一池浅水中鱼紧贴着荷叶下面游动的情景，把它们的“宇宙”想象成只有两个维度。我们的三维空间可能就超出了它们的体验。但是可以有一种方法使它们察觉到第三个维度的存在。如果下雨了，它们可以清楚地看到水波形成的影子沿着池塘的水面漫延开去。与此类似，虽然我们看不见第五维度，但第五维度中的波纹，在我们看来就是光。

（卡鲁扎的理论非常之美，而且非常深刻地揭示出对称性的力量。后来又证明，如果我们在爱因斯坦原来的理论中加进更多的维度，并使它们振动起来，那么这些高维度的振动就会再现弱核力和强核力中的W玻色子和Z玻色子，以及胶子！如果卡鲁扎推出的体系是正确的，那么显然宇宙要比以前所想象的简单得多。只须简单地把越来越高的维度振动起来，就可以再现主宰着世界的许多种力量。）

虽然爱因斯坦对这一结果大为吃惊，但它看起来太完美了，令人难以相信是真的。随着时间的推移，陆续发现了一些问题，把卡鲁扎的想法驳得一无是处。首先，这个理论充斥着发散现象与异常条件，这是量子引力理论的通病。第二，它还有一个更加令人不安的问题：为什么我们找不到第五个维度？当我们向空中射箭的时候，我们没看到它们消失在另一个维度中。想象一下烟的样子，它可以慢慢地弥漫到空间每个地

方。由于从来没有人观察到烟消失在一个更高的维度中，物理学家们意识到，更高的维度即使存在，也必然比原子还要小。过去100年中，神秘学家和数学家都有了有关高维度的想法，但物理学家对此嗤之以鼻，因为从来没人见过物体进入更高的维度。

为了拯救这个理论，物理学家不得不提出，这些高维度是极小的，所以在自然界中是观察不到的。由于我们的世界是个四维世界，这就意味着，第五个维度只能卷曲在比原子还小的圆环里，通过实验是无法观察到的。

弦理论也必须面对这一同样的问题。我们必须把这些没人需要的高维度卷在一个非常小的球里（这个过程叫做“紧致化”）。根据弦理论，宇宙原来是10维的，所有的力都由弦来统一起来。然而，10维超空间是不稳定的，于是10个维度中有6个开始卷曲到一个微小的球中，而其余的四个维度则随着大爆炸四外扩散开去。我们看不见其他这些维度的原因，是因为它们比原子小得多，因此没有东西能够进到它们里面。（例如，一根花园软管或一根吸管，从远处看，似乎定义为一个只有长度的三维物体，事实上走近了看，发现它们原来有二维表面，或者说是管形的，只是由于这第二维从远处看是卷缩起来的，因此看不见。）



为什么是弦？

虽然以前建立统一场理论的种种尝试全部失败了，但弦理论却经受住了所有挑战而存活了下来。事实上，它根本就没有对手。几十种理论都失败了，而弦理论却站住了脚，这有两个原因。

首先，作为一项以延长体（弦）为基础的理论，它避开了点状粒子所带有的许多发散现象。正如牛顿所观察到的，随着我们离一个点状粒子的距离越来越近，围绕着它的引力会变得无穷大。（根据著名的牛顿平方反比定律，引力以l/r_2的方式增长，所以，当我们接近点状粒子的时候，它会猛增至无穷大，即，当r降为零的时候，引力增长为$l/0$，也就是无穷大。）

即使在量子理论中，随着我们接近点状的量子粒子，引力也还是增长为无穷大。在几十年的时间中，费曼（Feynmam）以及许多其他人发明了一系列艰涩难懂的规则，想把这些以及许多其他隐藏着的发散处理掉。但是对于一个量子引力理论，即使费曼设计了一麻袋的招数也不足以去除这个理论中所有的超位数。关键在于，由于点状粒子是无穷小，这就意味着它们的力和能可以变为无穷大。

但是当我们仔细分析弦理论的时候，会发现有两项机理可以消除这些发散。第一项是由于弦的拓扑结构造成的；第二项，是由于它的对称性造成的，称为“超对称性”。

弦理论的拓扑结构与点状粒子的拓扑结构完全不同，因此它的发散也很不相同。（大体来说，由于弦有确定的长度，这就意味着，当我们接近弦的时候，各种力都不会猛增至无穷大。在靠近弦的地方，各种力只以l/L_2的方式增长，其中L是弦的长度，它是个10_{-33}厘米这样的普朗克长度。这个长度L就起到削减发散的作用）。由于弦不是个点状粒子，它有确定的长度，人们就可以证明，各种发散都沿着弦“摊销”掉了，于是所有的物理量值都变为有限度的了。

虽然好像一眼就能看明白弦理论的各种发散是可以摊销的，因而是有限的，但要用数学来精确地表达这个现象却是相当困难的，要用到“椭圆模函数”，而这是数学中最奇特的函数之一，它有一段非常精彩的历史，以至于它在好莱坞电影《心灵捕手》（*Good Will Hunting*）中扮演了一个重要的角色。故事讲的是一个出身于劳苦家庭的野孩子，由马特·戴蒙扮演，他在剑桥的后街里巷中长大。这个孩子展现了令人惊异的数学才能。他是麻省理工学院的门房，没事的时候常与地痞流氓厮混，打架斗殴。麻省理工学院的教授们吃惊地发现，这个市井小地痞实际上是

个数学天才，对于看似纠缠不清的数学难题，他能够一挥而就地写出答案来。意识到这个野小子已经自学了高等数学以后，其中一个教授脱口而出地说他就是“下一个拉马努金”。

实际上，《心灵捕手》大体上就是以斯里尼瓦桑·拉马努金（Srinivasa Ramanujan）的生平为素材的，他是20世纪最伟大的数学天才，19与20世纪之交的时候，在印度马德拉斯（Madras，今称金奈）附近孤苦伶仃地长大。由于是孤苦伶仃，他只能依靠自己的力量推导出欧洲19世纪的数学结果。他的数学生涯犹如一颗超新星，以他的数学光芒照亮天际之后，转瞬即逝。1920年在他37岁时就悲惨地死于肺结核。像《心灵捕手》中的马特·戴蒙一样，他也梦到了数学方程式，这次是“椭圆模函数”，它有奇异却非常美丽的数学特性，唯一的问题是它有24个维度。数学家们至今仍在试图解读拉马努金那本在他死后找到的“拉马努金丢失的数学笔记本”。现在回过头来看，我们发现拉马努金的著作可以被归纳为8个维度，这是可以直接应用于弦理论的。为了要建立一项物理理论，物理学家们额外又加上了两个维度。（例如，偏振光太阳镜就是利用了光有两个物理偏振方向，即光可以左右振动或上下振动。但是麦克斯韦方程式中光的数学公式有四个要素。这四种振动方式中有两个实际是多余的。）当我们在拉马努金函数中再加上两个维度以后，数学“幻数”就变成了10和26，恰恰就是弦理论的“幻数”。从某种意义上来讲，拉马努金在第一次世界大战之前就在研究弦理论了！

这些椭圆模函数的神奇特性本身就解释了，为什么这个理论必须有10个维度。只有在恰好有这么多维度的情况下，困扰着其他那些理论的大部分发散才会像变魔术一样地消失。但是，弦的拓扑结构本身还不足以消除所有的发散。该理论中剩下的那些发散要依靠弦理论的第二个特性，即它的对称性来消除。



超对称性

弦具有科学上已知的一些最了不起的对称性。第4章中讨论膨胀和标准模型的时候，我们已经看到，对称性使我们得以用优美的方式，将亚原子粒子安排成赏心悦目的格局。三种夸克可以按照SU（3）对称性进行安排，该对称性可以在它们之间进行3个夸克的互换。有人相信，大统一理论（GUT）中的5种夸克和轻子似乎可以按照SU（5）对称性进行安排。

在弦理论中，这些对称性将该理论中剩余的发散现象和异常条件取消。由于对称性是我们能够使用的最优美和最强大的工具，我们可以预期，宇宙理论必定具备科学已知的最优美和最强大的对称性。符合逻辑的选择应该是，这种对称性不仅能互换夸克，而且要能互换自然界中能找到的所有粒子，也就是说，即使我们把它们当中所有的亚原子粒子都重组一遍，等式仍然保持不变。而这正是超弦的对称性，称为“超对称性”[14]。它是唯一一种能够把物理学已知的所有亚原子粒子进行对换的对称性。这使它成为了一种理想的候选对称性，可以把宇宙中所有的粒子安排到单独一个优美统一的整体中。

如果我们观察一下宇宙中的各种力和粒子，会发现它们全都属于两个类别：“费米子”（fermions）和“玻色子”（bosons），这取决于它们的“自旋”。它们像极微小的陀螺一样，以各种不同的速率自旋。举例来说，光子，即传递电磁力的光粒子的自旋为1。弱核力和强核力是由自旋同样为1的W玻色子和胶子传递的。引力子的自旋为2。所有这些带整数自旋的都称为“玻色子”。同样，物质的粒子是由带半整数自旋的亚原子粒子来描述的，例如1/2，3/2，5/2等。（半整数自旋粒子被称为“费米子”，它们包括电子、中微子和夸克。）这样，超对称性以优雅的方式代表了玻色子与费米子之间、力和物质之间的二元性。

在超对称理论中，所有的亚原子粒子都有一个伴子：每个费米子都与一个玻色子成为一对。虽然我们从来没有在自然界中看到过这些超对称伙伴粒子，但物理学家们把电子的伙伴粒子叫做超电子（selectron），其自旋为0。（物理学家在“electron”前面加上一个“s”，以显示它是一个超伴子粒子〔英文“electron”的意思是“电子”。——译者注〕。）弱相互作用包括一些叫做轻子的粒子；它们的超伴子被称为“超轻子”（slepton）。同理，夸克也可以有一个叫做“超夸克”（squark）的自旋为0的伴子。已知粒子（夸克、轻子、引力子、光子等）的伴子统称为“超粒子”（sparticles），也就是superparticles。我们的原子击破器中迄今还没有找到这些超粒子（也许是因为我们的机器还没有强大到足以把它们创造出来）。

不过，由于所有的亚原子粒子不是费米子就是玻色子，所以超对称理论就有可能把所有已知的亚原子粒子统一到一个简单的对称之中。我们现在有了一个大到足以囊括整个宇宙的对称性。

试想一片雪花。把雪花的6个分叉中的每一个都想象为代表一个亚原子粒子，每隔一个分叉就是一个玻色子，紧接着的是一个费米子。那么这片“超雪花”的美，就在于无论我们怎样旋转它，它都保持不变。超雪花就以这种方式把所有的粒子及其超粒子统一起来。所以，如果我们要试着建立一个假想中的只包含6个粒子的统一场理论，超雪花就自然而然成为候选对象。

超对称性帮助我们消除了其他理论中剩余的那些致命的超位数问题。我们在前面提过，由于有了弦理论，多数的发散都已消除，即，由于弦有确定问题长度，因此在我们接近它的时候，各种力不会飙升至无穷大。当我们审视剩余的这些发散现象时，我们发现它们有两种，分属于玻色子和费米子的相互作用。然而，这两种作用总是带有正反两种符号，因此玻色子的作用正好消除费米子的作用！换句话说，由于费米子的作用和玻色子的作用总是以相反的符号出现，理论中剩下的那些超位数问题会互相抵消。所以，超对称性不仅仅是摆样子的东西；它不只是一种能够把自然界中所有的粒子统一起来，从而给人以美感的对称性，它还在消除弦理论中的发散现象方面起到不可或缺的作用。

回想一下那个关于设计一架时髦的火箭的比喻，机翼中的振动会不断增大，最终把机翼撕扯掉。其中一个解决办法就是探索对称性的威力，重新设计机翼，使得一个机翼中的振动抵消掉另一个机翼中的振动。当一个机翼顺时针振动时，另一个机翼逆时针振动，这样来抵消前者的振动。于是，火箭的对称性就不只是一种人为的艺术性设置，它还起到消除和平衡机翼中的应力的关键作用。与此同理，超对称性通过玻色子和费米子相互抵消的方式消除了发散。

（超对称性还解决了一系列高度技术性的难题，它们都足以断送大统一理论〔GUT〕[15]。大统一理论中那些错综复杂的数学矛盾需要用超对称性来消除。）

虽然超对称性是一种有如此威力的思想，但目前，还没有得到任何实验证据来支持它。这也许是因为，我们所熟知的电子和质子的超伴子对于我们当今的粒子加速器来说，过于庞大，难以制造。然而，有一样极具诱惑力的证据，指向通往超对称性的途径。我们现在知道，三种量子作用力的强度是相当不同的。事实上，在低能量的情况下，强作用力要比弱作用力强30倍，比电磁力强100倍。然而它并不总是这样。在发生大爆炸的那个瞬间，我们估计所有这三种力都是一样的强度。物理学家们可以反向推算出当时间开始之际，这三种力各自的强度应该是多少。通过分析标准模型，物理学家们发现，在接近大爆炸的时候，这三种力似乎在强度上趋于相同，但它们并不完全相等。然而，当人们把超对称性加上去之后，所有这三种力都完美匹配起来了，而且强度相等，

正好是人们预料统一场理论应该显示的那样。虽然这不是超对称性的直接证据，但它至少说明，超对称性是与已知的物理学法则一致的。

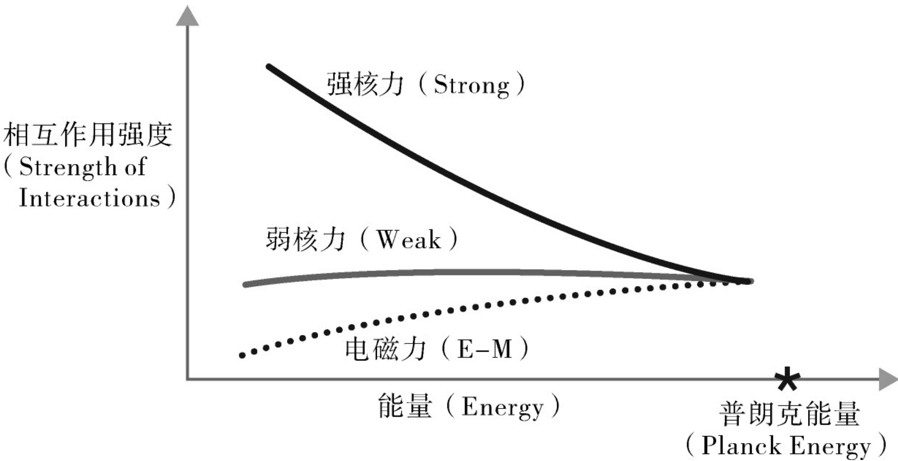


图10　弱作用力、强作用力和电磁力的强度与我们在日常世界中所知的完全不同。但是，当能量接近大爆炸时的水平，这些力的强度应该完美地趋向一致。加上了超对称性之后，这一趋同现象就出现了。因此超对称性在统一场论中也许是一个关键的因素。



推演标准模型

虽然超弦中完全不存在可调整的参数，但弦理论却可以提出与标准模型惊人相似的结论。而标准模型则使用一堆五花八门的奇异的亚原子粒子和19种自由参数（例如粒子的质量以及它们的耦合强度）。此外，标准模型中还有全部夸克和轻子的3种完全一样的和多余的副体，似乎完全没有必要。幸运的是，弦理论可以毫不费力地推导出标准模型的许多带本质性的特性。这简直就像是白来的。1984年，得克萨斯大学的菲利普·坎德拉斯（Philip Candelas）、加利福尼亚大学圣巴巴拉分校的加里·霍罗威茨（Gary Horowitz）和安德鲁·施特罗明格（Andrew Strominger），以及爱德华·威滕（Edward Witten）证明，如果你把弦理论的10个维度中的6个包裹起来，同时保持所剩4个维度的超对称性，这个细小的六维世界就可以用数学家们所说的“卡拉比-丘流形”（Calabi-Yau manifold）来描述。他们通过对卡拉比-丘（Calabi-Yau）空间做几项简单的选择，显示出弦的对称性可以被解析成一种与标准模型惊人近似的理论。

就这样，弦理论对为什么标准模型会有三个冗余代（redundant generations）给出了一个简单的答案。在弦理论中，夸克模型中代或者说冗余代的数量是与我们在卡拉比-丘流形中有多少个“洞”相联系的。（例如，面包圈、内胎以及咖啡杯都属于带有一个洞的表面。眼镜架带有两个洞。卡拉比-丘流形的表面可以有任意数量的洞。）这样，随便选择一个带有特定数量的洞的卡拉比-丘流形，我们就可以建立起带有不同数量冗余夸克代（generations of redundant quarks）的标准模型。（由于卡拉比-丘流形的空间太小，我们从来都看不到它，所以我们也从来都看不到这个空间有像面包圈一样的洞。）多年来，一批又一批的物理学家费尽心机地想要把所有可能存在的卡拉比-丘空间归类，他们意识到，是这种六维空间的拓扑结构决定了我们这一个四维宇宙中的夸克和轻子。



M理论

1984年围绕着弦理论所迸发出来的兴奋好景不长。到了20世纪90年代中期，物理学家逐渐对超弦浪潮失去了兴趣。该理论所提出的一些简单问题已经逐个解决，剩下的都是些很难解决的问题。其中一个问题是，在弦的方程式中发现了几十亿个解。以不同的方式把空间时间压缩或卷缩起来，你可以用任何维度（而不仅仅是四个维度）写出弦的解。这几十亿个弦的解中的每一个都对应于一个从数学上来讲自成一体的宇宙。

物理学家一下子被淹没在弦的解之中了。特别值得注意的是，其中有许多解与我们的宇宙非常相似。只要选择一个合适的卡拉比-丘空间，要再现出标准模型的许多主要特征是相对容易的，包括它那一堆奇特的夸克和轻子，甚至包括它那一套莫名其妙的冗余副本。然而，要想从中找出分毫不差的标准模型，与它的19个参数的具体值以及三套冗余代完全一样，则异常困难（即使在今天也仍然是一项挑战）。（弦解的数量多到令人目眩的程度，但对于相信多元宇宙的物理学家来说，这恰恰是求之不得的，因为每一个解都代表一个完全自成一体的平行宇宙。但是令人头痛的是，在这些纠缠不清的宇宙中，物理学们却很难找到正好等于我们自己这个宇宙的解。）

之所以这样困难，其中一个原因是，由于在我们这一低能量的世界中看不到超对称性，所以我们最终必须打破超对称性。举例来说，我们在自然界中看不到超电子（selectron），也就是电子的超伴子（superpartner）。如果不打破超对称性的话，那么每个粒子的质量就会等于它的超粒子（superparticle）的质量。物理学家们相信，打破超对称性后所得到的结果是超粒子的质量巨大，超出了当前粒子加速器的能力范围。但是目前还没有人拿出可信的方案来打破超对称性。

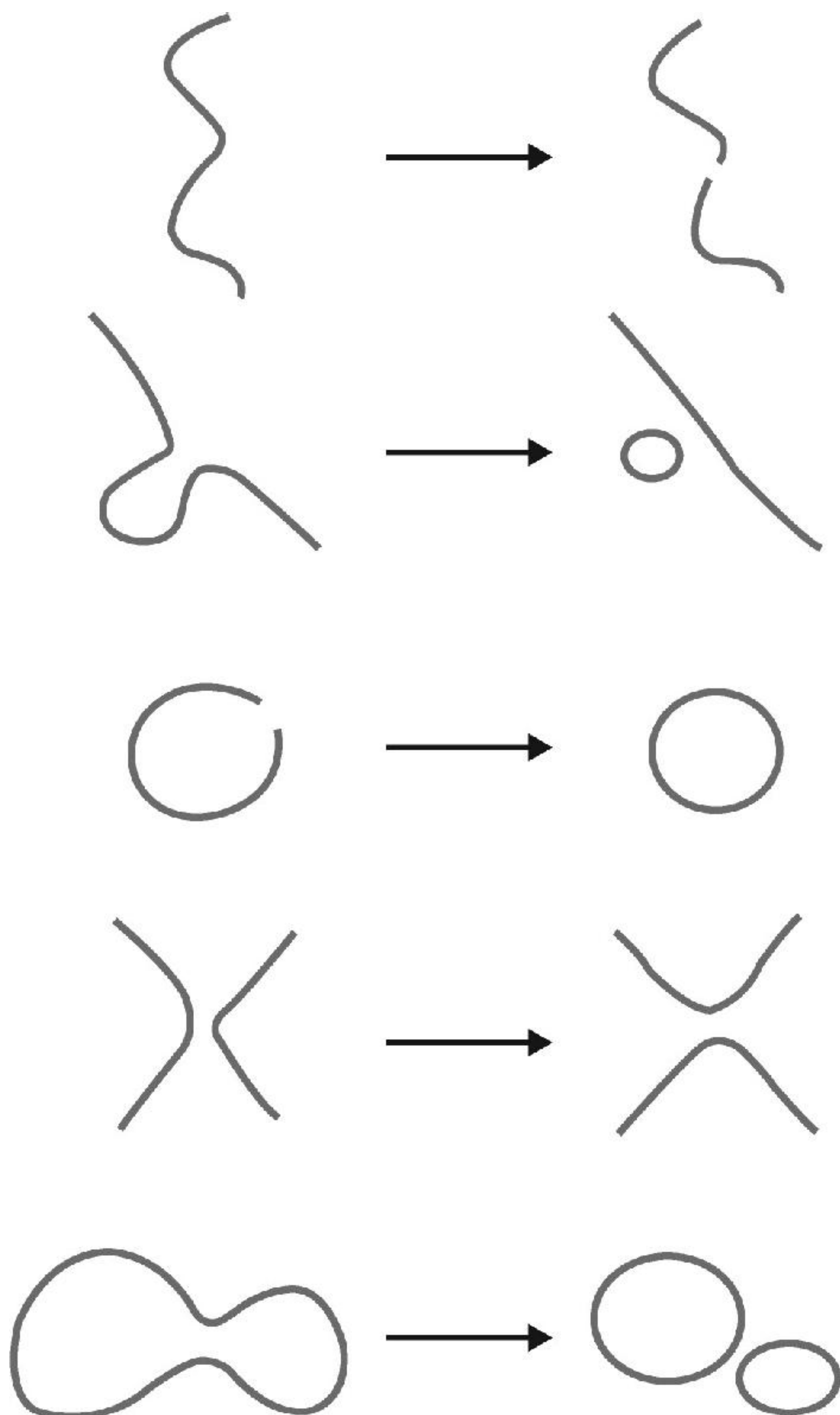


图11　第一类（Type I）弦经历5种可能的相互作用，在其中弦可以折断、连接以及裂变（环形

弦在挤压下分裂为两个较小的环形弦）。对于封闭的弦，只需最后这种相互作用就够了（像细胞的有丝分裂一样）。

位于圣巴巴拉的卡弗里（Kavli）理论物理研究所的戴维·格罗斯（David Gross）说过："带三个空间维度的解有几十万亿个……然而，虽然我们有这么多的解，但却没有一个好办法来从中进行选择，这多少有些令人尴尬。"

除此之外，还有一些令人头痛的问题。其中最令人尴尬的是现在有5个自成一体的弦理论。令人难以想象，宇宙中怎么可能容得下5种互不相同的统一场理论。爱因斯坦相信，上帝在创造宇宙的时候没有别的选择。如果是这样，上帝怎么会建立5套理论呢？

以韦内齐亚诺公式为基础的最初的理论描述了一个叫做"第一类"（Type I）的超弦理论。第一类理论的基础既包括开放弦（例如，带有两端的弦），也包括封闭弦（例如，环形的弦）。这项理论在20世纪70年代初期得到了最深入的研究。（利用弦场论，吉川和我把全套第一类弦相互作用进行了归类。我们证明了，第一类弦需要有5种相互作用；对于封闭的弦，我们证明了只需要一个互动项就够了。）见图11。

吉川（Kikkawa）和我还证明，只用封闭的弦就可能建立完全自成一体的理论（例如像一个环）。今天，这些被称为"第二类"（Type II）弦理论，在其中，弦的相互作用是通过挤压一个环形弦使之形成两个较小的弦来完成的（就像细胞的有丝分裂）。

最具现实意义的弦理论叫做"杂化"弦理论，是由普林斯顿小组（Princeton group），包括戴维·格罗斯、埃米尔·马丁内茨（Emil Martinec）、瑞安·罗姆（Ryan Rohm）和杰弗里·哈维（Jeffrey Harvey）制定的。杂化弦可以包容叫做E（8）×E（8）或O（32）的对称群，它们大到足以吞下各种GUT理论（大统一理论）。杂化弦完全以封闭弦为基础。20世纪80年代和90年代，当科学家们提到"超弦"的时候，他们实际指的就是杂化弦理论，因为它的丰富程度足以让人用来分析标准模型和GUT理论。例如，对称群E（8）×E（8）可以被分解为E（8），再分解为E（6），而E（6）又大到足以将标准模型中的SU（3）×SU（2）×U（1）对称包括进去。



超引力之谜

除了有5个超弦理论之外，还有另外一个令人头痛的问题，它在一窝蜂解决弦理论的时候被遗忘了。早在1976年，有三位物理学家，彼得·范·尼乌文赫伊泽恩（Peter Van Nieuwenhuizen）、塞尔焦·费拉拉（Sergio Ferrara）和丹尼尔·弗里德曼（Daniel Freedman），当时在纽约州立大学石溪分校工作，发现爱因斯坦原来的引力理论，只需在原来的引力场中再加上一个新的场，一个超对称伙伴（superpartner）（称做“引力微子”〔gravitino〕，意思是“小引力子”，自旋为3/2）就可以变为超对称的了。这项新理论被称为“超引力”（supergravity）理论，它的基础是点状粒子，而不是弦。与具有无穷序列的音符和共振的超弦不同，超引力只有两个粒子。1978年，欧仁·克雷梅（Eugene Cremmer）、若埃尔·舍尔克（Joël Scherk）以及巴黎高等师范学校的伯纳德·朱利亚（Bernard Julia）证明，最通用的超引力可以用11个维度来描述。（如果我们试图用12个或13个维度来描述超引力的话，就会出现数学矛盾。）20世纪70年代末和80年代初，人们认为超引力可能就是传说中的统一场理论。这项理论甚至启发了斯蒂芬·霍金，他在接受剑桥大学卢卡斯数学教授这一当年牛顿也拥有过的教席头衔的就职演说中提到“理论物理学的尾声”在望。但是超引力不久也遇到了扼杀以前各种理论的那些难题。虽然它的超位数比普通的场理论少，但归根结底超引力不是个有限度的理论，它最后可能会被异常条件纠缠住。就像所有其他的场论一样（弦理论除外），该项理论在科学家的眼皮底下破产了。

另一种可以在11个维度存在的超对称理论是超膜理论。虽然弦只有一个维度，用来定义它的长度，但超膜可以有两个以上的维度，因为它代表的是一个平面。特别引人注目的是，已经证实有两种类型的膜（二位膜〔two-brane〕和五位膜〔five-brane〕）在11个维度中也可以自成一体。

然而，超膜也有其问题，想要运用它们的话会出奇地困难，而且它们的量子理论实际上是发散的（diverge）。小提琴的琴弦是那么简单，古希腊的毕达哥拉斯派在2000年前就得出了它们的和声定律，而膜的难度则是如此之大，即使在今天也没有人能拿得出一项建立在它们基础之上的令人满意的音乐理论。此外，已经证实这些膜是不稳定的，最终会衰变为点状粒子。

于是，到了20世纪90年代中期，物理学家们就面临着几个谜。为什么10维度的弦理论有5个？为什么有两个11维度的理论，也就是超引力理论和超膜理论？再者，所有这些都具备超对称性。



第11个维度

1994年，又爆出了惊天大新闻。一项新的突破再一次使整个局面改观。爱德华·威滕和剑桥大学的保罗·汤森德（Paul Townsend）从数学上发现，存在着一个11个维度的理论，其源头不为人知，10个维度的弦理论实际上是这个更高次元的神秘理论的近似理论。例如，威滕证明，如果我们在11维度取一个膜样理论（membraneliketheory），把其中一个维度卷曲起来，那么它就变成一个10维度的第二类a型（Type II a）弦理论！

在这之后不久就发现，所有的5种弦理论（fivestringtheories）都是这种情况，它们同样都是这个神秘的11维度理论的近似理论，只是近似的方式有所不同。由于有各种不同类型的膜可以存在于11维度中，威滕就把这一新理论称为“M理论”。但是，这个理论不仅把5个不同的弦理论统一起来，它还有额外惊喜，可以解释超引力之谜。

你可能还记得，超引力是一项有11个维度的理论，它只包括两个质量为零的粒子，即原有的爱因斯坦引力子，再加上它的超对称伴子（称为引力微子）。然而，M理论有超位数（无穷数量）的粒子，其质量各不相同（这与某些类型的11维膜上所泛起的无穷数量的振动相对应）。但是，如果我们假定M理论中极小的一部分（只含那些无质量的粒子）正是老的超引力理论的话，我们就可以解释超引力的存在。换句话说，超引力理论是M理论中的一个微小的子集。同理，如果我们取这一神秘的11维度膜样理论（membranelike theory），并卷起其中一个维度，膜就变为一个弦。事实上，它分毫不差地变为第二类（Type II）弦理论！举例来说，如果我们观察一个11维度的球体，然后把其中一个维度卷起来，这个球体就会坍塌，它的赤道线就会变成一个封闭的弦。这样，我们看到，如果我们把第11个维度卷成一个小圆环的话，弦理论可以被视为从这个有11个维度的膜上切下的一片。

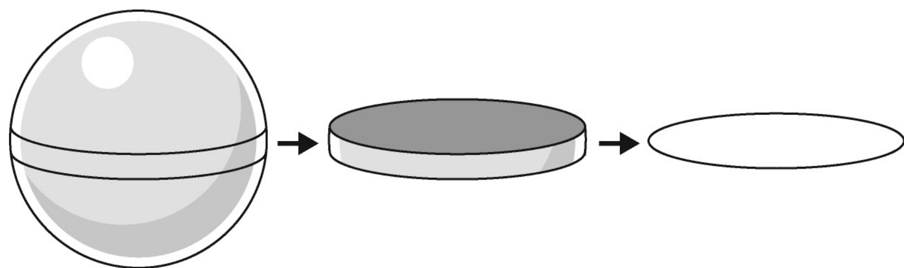


图12　从11维度的膜上切下或卷起一个维度以后，一个10维度的弦就脱颖而出。在其中一个维度坍塌之后，膜的赤道线变成了弦。这种简约过程可以通过5种方式来实现，这样就产生了5种不同的10维度超弦理论。

于是，我们找到了一种优美而又简单的方法把所有的10维和11维物理学理论统一成单独一个理论！这是个令人叫绝的概念突破。

我至今仍记得这项爆炸性的发现所引起的轰动，当时我正在剑桥大学作一个讲演。保罗·汤森德（Paul Townsend）很给我面子地把我介绍给听众。但是在我开始讲演之前，他带着极大的热忱介绍了这一新结果，说通过第11个维度，我们可以把各种弦理论统一成一个单一理论。我的讲演的标题中提到了第10个维度。在我开始演讲之前他告诉了我，如果这个新结果被证明是成功的，那么我的讲演的题目就过时了。

我暗自想道：“完了，这下要有好看了……”如果他不是在信口开河的话，那么整个物理学界要闹得天翻地覆了。

我没法相信自己的耳朵，于是我像连珠炮似地向他提出了一堆问题。我指出，他帮助建立起来的11维度超膜理论是没有用的，因为很难对它们进行数学处理，不只如此，它们还不稳定。他承认这是个问题，但他坚信，这些问题将来会得到解决。

我还说，11维度的超引力没有止境；它会像除弦理论以外的所有其他理论一样破灭。对此他平静地回答说，这已不再是个问题，因为超引力不是别的，它是一个更大的、更为神秘的理论，是M理论的近似理论，而M理论是可穷尽的，这实际上是用膜的概念在第11个维度中重新建立起来的弦理论。

于是我说，没人能够接受超膜，因为从来没有人能够解释超膜在互相碰撞和重组过程中是如何相互作用的（就像多年前我在自己的博士论文中对弦理论所做的那样）。他承认这是个问题，但他坚信，这个问题也是可以解决的。

最后我说，M理论实际上根本谈不上是个理论，因为没人知道它的基本方程式。与弦理论不同（弦理论可以用我在多年前写下的那些可以容得下整个理论的简单的弦的场方程式中的各项来表达），膜根本就没有场论。他对这一点也认可，但他仍然坚信，最终一定会找到M理论的方程式。

我的头脑中不由得翻江倒海起来。如果他是对的，那么弦理论就将再一次经历剧变。一度被扔进物理学史垃圾箱的膜理论忽然之间又起死回生了。

出现这项革命的起因，是因为弦理论仍在倒着发展着。甚至直到今天也仍没有人懂得贯穿整个这一理论的简单物理学原理究竟是什么。我喜欢把这一情形比做漫步在沙漠中，突然绊上了一块小小的美丽的石子。当我们拂去沙子，发现这个小石子原来是埋没在成吨重的沙子下面的一座巨型金字塔的顶端。经过几十年坚持不懈地挖沙工作，我们才能见到神秘的象形文字、隐蔽的墓室和墓道。终有一天，我们会找到它的最下一层，最终开启它的大门。



膜世界

M理论的新颖之处在于它不仅引用了弦，而且还有种类齐全的有各种不同维度的膜。在这里，点状粒子被称为“零位膜”（zero-branes），因为它们无穷小，而且没有维度。于是一根弦就是一个“一位膜”（one-brane），因为它是个只有长度的一维客体。一片膜就被称为“二位膜”（two-brane），像篮球的表面那样，它有长度和宽度。（篮球可以浮起在三维空间，但它的表面却只有两个维度。）我们的宇宙说不定就是某种类型的“三位膜”（three-brane），是一种具有长、宽、高的三维客体。（正如一位颇为机智的家伙所说的，如果空间有*p*个维度，如果这个*p*是个整数，那么我们这个宇宙就是个*p*位膜，在英文中读音与“pea-brain〔字面意为‘豌豆大小的脑子’〕”同。而显示所有这些“豌豆大小的脑子”的图表就称为“脑扫描”。）

我们可以有多种方法把膜蜕减为一根弦。除了把第11个维度包裹起来以外，我们还可以把具有第11个维度的膜的赤道线切削掉，这样就形成一个环形带子。如果我们让这个带子的厚度收缩，那么这根带子就变成了一个有10个维度的弦。彼得·霍扎瓦（Petr Horava）和爱德华·威滕证明，我们可以用这种方式得出杂化弦（heterotic string）。

实际上，可以证明有5种方式将有11个维度的M理论降解为10个维度，由此而得出5种超弦理论。对于为什么会有5种不同的弦理论这个谜，M理论给了我们一个快速直观的答案。想象自己站在一座大山顶上，俯瞰山下的平原。由于我们在第三维度上的有利视角，我们可以看到平原上各个不同的部分被统一成一幅单一连贯的图景。同理，当我们站在第11个维度的有利角度上俯瞰第10个维度，我们就可以看出，这5种茫无头绪的超弦理论不过是第11个维度的不同组成部分而已。



二元性

虽然保罗·汤森德当时没有办法回答我所提出的大部分问题，但又有一种对称理论的威力使我最终相信了这一想法的正确性。M理论不仅具有物理学中已知最大的一套对称性，它还怀揣着另一个绝招：这就是“二元性”，它使M理论具备了难以置信的能力，将所有这5种超弦理论吸纳到一个单一理论中去。

细想一下由麦克斯韦方程式支配的电和磁。很久以前人们就注意到，如果你简单地将电场和磁场调换，其方程式看起来几乎完全一样。如果你在麦克斯韦的方程式中加进磁单极子（磁的单极），这一对称性就完美无缺了。如果我们把电场和磁场交换，并把电荷e与反向的磁荷g对调，那么经过修改的麦克斯韦方程就会保持与原来完全一样。这意味着电（在电荷低的情况下）与磁（在磁荷高的情况下）是完全相等的。这种等效性就称为“二元性”。

过去，这一对偶性被认为不过是个科学奇特性上的小障眼法（parlor trick）而已，因为从来没有人见到过磁单极子，即使是今天也一样。然而，物理学家发现了一个不可思议的现象，麦克斯韦的方程式中包含着一种隐藏的对称性，在自然界好像是用不到的（至少在我们这部分宇宙中是如此）。

同样，5个弦理论全部都互为对偶。以I类和杂化SO（32）弦理论为例。一般情况下，这两个理论甚至在外表上都没有相似之处。I类理论的基础是封闭的和开放的弦，它们可以用5种不同的方式进行相互作用，弦就像图12所示的那样分裂和连接。而SO（32）弦则不同，它完全是建立在封闭弦的基础之上的，它只有一种可能的相互作用方式，像细胞一样进行有丝分裂。I类弦完全是以10维空间定义的，而SO（32）弦则是以在26维空间中定义的一套振动来定义的。

一般情况下，你找不到看起来如此不同的两种理论。然而，正像在电磁中一样，这两种理论具备强大的对偶性：如果你让相互作用的力度加强，I类弦会像变魔术一样地变为SO（32）杂化弦。（这一结果太令人意想不到了，我第一次见到这个结果时，吃惊地摇起了头。在物理学中，看起来完全不一样的两种理论最终被证明在数学上相等的情况很罕见。）



莉萨·兰德尔

M理论相对于弦理论的最大优越性可能在于，这些高维度不仅不是很小，实际上反而相当大，甚至于可以在实验室中观察到。在弦理论中，有6个高维度必须被卷成一个小球，卷成一个卡拉比-丘流形，小到现有的仪器无法观察到。这6个维度都被紧压起来，要想进入一个高维度是不可能的。比那些希望有一天能够飞入一个无穷大的超空间（hyperspace），而不想走一条经过虫洞穿越紧缩着的超空间捷径的人还要失望一些。

然而，M理论中也有膜；可以把我们整个的宇宙看做是漂浮在另一个大得多的宇宙之上的一片膜。于是，并不是所有这些高维度都必须卷缩到一个小球中去。实际上，其中有些维度可以很巨大，大到无边无际。

哈佛大学的莉萨·兰德尔（Lisa　Randall）是试图对这一宇宙新图景进行探索的物理学家之一。兰德尔（Randall）长得有点像女演员朱迪·福斯特，而理论物理是个在睾丸素刺激下竞争激烈、高度紧张的男性专业，她在这里看起来颇不协调。她所钻研的想法是，如果宇宙确实是一个漂浮在另一个更高维度的空间中的三位膜（three-brane），这或许就能解释为什么引力会比另外三种力弱那么多了。

兰德尔在纽约的皇后区长大（就是因阿齐·邦克〔Archie　Bunker〕而名垂史册的那个区）。虽然她在儿时对物理学没有特别的兴趣，但她却迷上了数学。虽然我相信，我们所有人在童年时都生来就是科学家，但并不是每个人在成年以后依然能够做到终身爱好科学。其中一个原因就是他们撞上了数学这堵砖墙。

不管我们愿不愿意，如果我们想以科学为生涯，我们最终都必须得学“大自然的语言”——数学。没有数学，我们就只能被动地观望自然之舞，而无法积极参与其中。正如爱因斯坦一次所说的那样：“纯数学以其特有的方式成了逻辑思维的诗篇。”现在让我来做个比喻，人可以爱好法国文明和文学，但要想真正理解法国人的思维方式，就必须学习法语，并且学会法语的动词变位。对于科学和数学来说也是一样的道理。伽利略曾写道：“除非我们学会了（宇宙的）语言、熟悉了它的文字，否则我们将无法读懂它。这是用数学的语言写就的，它的字母就是三角、圆以及其他几何图形，没有这些手段，即使只想理解一个字也是非人力所能及的。”

但是数学家们往往为自己是离实际最远的科学家而自鸣得意。数学

越抽象越无用越好。早在20世纪80年代初，兰德尔还是本科生的时候，她就走向了一个不同的方向，促使她这样做的，是她热衷于物理学可以建立宇宙“模型”这一想法。当我们物理学家初次提出一项新理论的时候，它不是简单地建立在一堆方程式上的。新的物理学理论往往是建立在一个简化了的、在理想条件下与某一现象接近的模型上。这些模型通常非常图形化、直观化，简单易懂。例如，夸克模型是建立在质子中有三个叫做夸克的小要素这一想法之上的。简单的以物理草图（physical pictures）为基础的模型就足以解释宇宙中的很多现象，这给兰德尔留下了深刻印象。

20世纪90年代，她对M理论、对整个宇宙有可能只是一片膜产生了兴趣。她开始专攻引力中可能是最令人困惑不解的特征，即，引力的强度是天文数字般地小。无论是牛顿还是爱因斯坦都没有涉及这一基本而又神秘的问题。宇宙中其他三种力（电磁力、弱核作用力和强核作用力）的强度大致都差不多，而引力却大相径庭。

特别是，夸克的质量与量子引力相关的质量相比是大小了。要了解引力弱到什么程度，只消拿起一把梳子，在你的衣服上蹭一下，再拿起一张纸。电荷在纸上的作用力居然能克服有60万亿万亿千克重的地球的引力。兰德尔说：“这个差距不小，这两种质量级之间相差16个数量级！只有能够解释这种巨大比值的理论，才可能担当起标准模型的基础理论。”

正是因为引力是如此之弱，才能解释恒星为什么如此之大。地球，连同其海洋、山峦及大陆在与巨大的太阳相比之下，只不过像一个小小的斑点。但因为引力是如此之弱，需要用整个恒星的质量才能把氢挤压到能够克服质子中的电斥力（electrical force of repulsion）。由于引力与其他各种力相比太弱，所以恒星才会如此巨大。

由于M理论在物理学中激起了这么多的轰动，有几个研究小组就试图把这项理论应用到我们这个宇宙。假设宇宙是一个三位膜，漂浮在一个五维世界中。这时，三位膜表面的振动就对应于我们身边所看到的原子。这样，这些振动就永远不会离开三位膜，也因此不能漂移到第五维度中去。即使我们的宇宙漂浮在第五维度中，我们的原子也不会离开我们的宇宙，因为它们代表的是三位膜表面的振动。这样就可以回答卡鲁扎和爱因斯坦在1921年提出的问题：第五个维度在哪里？回答就是：我们正漂浮在第五维度中，但我们无法进入第五维度，因为我们的身体附着在三位膜的表面。

但这么一幅图景中有一个潜在的毛病：引力代表着宇宙空间的曲率。因此，我们可能会天真地以为引力会填满所有的五维空间，而不仅仅是三位膜。这样一来，引力一旦离开三位膜就会被稀释，使引力弱化。对于支持这项理论来说这是个好事，因为我们所知道的引力恰恰比其他各种力弱得多。但是它把引力弱化得太多了，这将违反牛顿的平方反比定律（inver sesquare law），而事实上，平方反比定律与行星、恒

星以及星系的情况是完全相符的。在空间中的任何地方我们都找不到引力的立方反比定律（inverse cube law）。（想象一个灯光照亮的房间。灯光散布为一个球体。光的强度随球体的外延而减弱。这样，如果你把球体的半径加大1倍，光在球体中散布的范围就扩大为4倍。一般而言，如果一个灯泡存在于一个n维空间，那么，当半径升至第n-1次幂，球体的范围也随着扩大，光的强度也被稀释了。）

为回答这个问题，一组物理学家，包括N．阿尔卡尼-哈米德（N．Arkani-Hamed）、S．季莫普罗斯（S．Dimopoulos）和G．德瓦利（G．Dvali）提出，也许第五维度不是漫无边际的，它也许就像H．G．威尔斯的科幻小说中所说的那样，离开我们1毫米远，漂浮在我们的宇宙上。（如果第五维度大于1个毫米的话，它违反牛顿平方反比定律的程度就可以测定出来。）如果第五维度只离开我们1毫米远，就可以在非常短的距离上寻找对牛顿万有引力定律的微小偏差，从而对这项预测进行测试。牛顿的万有引力定律在天文距离上很有效，但从未有人在1毫米的距离上对它进行测试。实验人员现正争先恐后地做测试，寻找对牛顿平方反比定律的微小偏差。其结果目前成了几项正在进行的实验的研究对象，我们将在第9章谈到它。

兰德尔和她的同事拉曼·森德拉姆（Raman　Sundrum）决定采用一种新的方式，来重新检查，看第五维是否有可能并非离开我们1毫米远，而可能甚至是无穷远的。为了要做到这点，他们先要解释为什么第五维度可以无穷大，而同时又不破坏牛顿的万有引力定律。正是在这里，兰德尔找到了一个解答这个难题的可能答案。她发现，三位膜有其自己的万有引力（gravitational　pull），可以防止引力子自由漂移到第五维度中去。由于三位膜的引力作用，引力子只能附着在三位膜上（就像苍蝇被粘在粘蝇纸上那样）。这样，当我们试图测定牛顿定律的时候，我们会发现，它在我们的宇宙是近似正确的。引力在离开三位膜，漂移进第五维度时被稀释和弱化，但程度并不很严重：因为引力子仍然受到三位膜的吸引，所以平方反比定律大致上仍然存在。（兰德尔也引进了与我们的膜平行存在的第二个膜的可能性，如果计算两片膜之间微妙的相互引力作用，我们可以对它进行调节，这样就可以用数字来说明引力的微弱性。）

“当第一次有人提出用额外的维度可以作为解决（级列问题〔hierarchy　problem〕）的一种可选办法时，人们相当兴奋。”兰德尔说，“一开始，额外的空间维度可能看起来像个疯狂的想法，但是有非常有说服力的原因使人相信，确实存在额外的空间维度。”

如果这些物理学家是对的，那么引力的强度就与其他各种力没有两样，只不过因为它泄漏了一部分到更高维度的空间，因而减弱了。这一理论造成的深远意义是，使这些量子效应达到可检测程度的能量可能不是过去人们以为的普朗克能（10^{19}亿电子伏特）。也许只需要几万亿电子伏特就够了，这样，大型强子对撞机（预计2007年建成）在这个十年期内就有可能找出量子引力效应了。这在实验物理学家中激起了相当的

兴趣，竞相搜寻亚原子粒子标准模型以外的奇异粒子。也许，量子引力效应离我们已经近在咫尺了。

膜理论还为暗物质之谜提供了说得通的答案，虽然还只是猜测性的。在H．G．威尔斯的小说《隐身人》中，主人公悬浮在第四维度中，因此而变得不可见。同理，想象有一个平行世界恰好悬在我们的宇宙之上。在那个平行宇宙中的任何星系对我们来说都是不可见的。但因为引力是由超空间的弯曲造成的，所以引力可以在宇宙间跃迁。在另一个宇宙中的任何大的星系都可以穿过超空间而被我们这一宇宙中的一个星系所吸引。这样，当我们测定我们这一星系的特性时，我们就会发现，它的万有引力（gravitational pull）会比根据牛顿定律预期的要强得多，因为它的身后正藏着另一个星系，在附近的一层膜上漂浮着。这个躲在我们这一星系身后的隐藏的星系由于是漂浮在另一个维度中，所以是完全看不到的，但它会看起来像是包围着我们这一星系的光晕，含有90%的物质。因此，暗物质有可能是由平行宇宙的存在而造成的。



相互碰撞的宇宙

现在就把M理论应用到严肃的宇宙学可能有点为时过早。然而，物理学家已经尝试应用这一新的“膜物理学”（brane physics），以便在宇宙研究中通常采用的膨胀方法中加进新的转折（make a new twist）。有三种可能的宇宙学引起人们注意。

第一种宇宙学试图回答这样的问题：为什么我们生活在四维时空中？原则上，M理论在11个维度以下都可以成立，所以，为什么单单是四个维度，似乎是件神秘莫测的事。罗伯特·布兰登贝格尔（Robert Brandenberger）和库姆兰·瓦法（Cumrun Vafa）猜测，这也许是由弦的几何特性造成的。

在他们设定的场景中，宇宙是以完美的对称起始的，所有较高维度都在普朗克尺度上紧紧地卷起。阻止宇宙膨胀的是一个环套又一个环的弦，紧紧地缠绕在各个维度周围。想象一个压紧的弹簧圈被弦紧紧地缠绕着不能张开。如果弦绷断了，弹簧圈会突然弹开扩张。

在这些微小的维度中，由于既有弦的缠绕，又有反弦的缠绕（大体上来说，反弦与弦的缠绕方向相反），所以宇宙被阻止膨胀。如果弦和反弦相撞，它们就会互相湮灭而消失掉，就像解开了一个结，结就不复存在了一样。在非常大的维度中，“房间”要大得多，弦和反弦很少能碰撞到，也从来不能解开。然而，布兰登贝格尔（Brandenberger）和瓦法（Vafa）显示，在三个或以下的空间维度中，弦与反弦碰撞的可能性就比较大了。一旦发生这种碰撞，弦就解开了，这些维度就迅速向四外弹开，形成了大爆炸。这幅图景的引人入胜之处，在于弦的拓扑学结构大致解释了为什么我们能够看到我们周围熟悉的四维时空。更高维度的宇宙是可能的，但不大可能被看到，因为它们仍被弦和反弦紧紧地包裹着。

但是M理论中也还有其他的可能性。如果宇宙可以互相挤压，或从一个中爆出另一个，产生出新的宇宙，那么说不定相反的过程也有可能发生；若干宇宙可以碰撞，其间产生出火花，繁衍出新的宇宙。在这种情况下，大爆炸的出现也许是因为两个平行的膜宇宙之间发生了碰撞，而不是孕育出了一个宇宙。

这第二个理论是由普林斯顿大学的保罗·施泰因哈特（Paul Steinhardt）、宾夕法尼亚大学的伯特·奥夫鲁特（Burt Ovrut）和剑桥大学的尼尔·图罗克（Neil Turok）提出的，他们创立了“火劫”（ekpyrotic）宇宙学说（希腊文ekpyrotic的意思是“大火灾”），以

便包容M膜图景中的新特性，其中，有些额外的维度可以很大，甚至无穷大。他们从两个平坦的、同样性质的，而且是平行的三位膜着手，它们代表一种最低能量状态。起初它们是空寂寒冷的宇宙，但引力逐渐把它们拉到一起。最后它们发生碰撞，碰撞产生的巨大动能转化为构成我们宇宙的物质和辐射。有人把这叫做“大劈开”（bigsplat）理论，以区别于大爆炸理论，因为它是由两个膜的碰撞造成的。

碰撞的力量把两个宇宙互相推开。随着这两个膜互相越离越远，它们迅速冷却，形成我们今天看到的这个宇宙。冷却和膨胀持续几万亿年，直到宇宙的温度达到绝对零度，其密度在一百万的四次方立方光年（10^{24}立方光年。——译者注）的空间中只有一个电子。这样，宇宙实际上就变成了一片空无死寂。但是引力继续吸引两片膜，直至几万亿年以后，它们再次相撞，这个循环周而复始。

这种新的描述能够得出符合膨胀说的结果（例如平坦度和均匀性等）。它还解决了宇宙为什么这么平坦的问题——因为作为两片膜，它们一开始就是平坦的。这个模型还可以解释穹界问题（horizon problem），即，为什么宇宙从一切方向上看过去都是这样惊人地均衡。这是因为膜已经经历了很长的时间来逐渐达到平衡。这样，膨胀学说以宇宙猛然膨胀来说明穹界问题，而这个学说则以相反的方式来说明穹界问题：宇宙是以慢动作达到平衡的。

（这同时也意味着，超空间中可能还悬浮着其他膜，将来可能会与我们这个膜碰撞，造成另一次大劈开。由于我们的宇宙事实上正在加速膨胀，所以另一次碰撞实际上是可能的。施泰因哈特补充说：“说不定宇宙膨胀加速正是这场碰撞的前奏，这让人想起来不寒而栗。”）

任何公然挑战占主流地位的膨胀学说的理论都注定会引起激烈的反响。事实上，这篇论文放到网上不到一个星期，林德（Linde）和他的妻子雷娜塔·卡洛希（Renata Kallosh，她本人就是个弦理论家）以及多伦多大学的列夫·科夫曼（Lev Kofman）就发表了对这一学说的批评文章。林德批判了这个模型，因为凡是像两个宇宙相撞那样的大灾难，都可能造成一个奇点（singularity），其温度和密度都接近无穷大。“那就好比有人向黑洞中扔进一把椅子，黑洞会把椅子的粒子蒸发掉，而那人却还说椅子的形状依然存在一样。”林德驳斥道。

施泰因哈特反驳说：“从四维空间看来好像一个奇点的东西，在五维空间未必仍然呈奇点……当两片膜挤到一起时，第五维度会暂时消失，但膜本身并不消失。所以密度和温度不会升至无穷大，而时间依然持续。虽然这时广义相对论已错乱，但弦理论不会。而且我们的模型中曾经看来像是灾难性的东西，现在看来是可掌控的。”

施泰因哈特所依仗的是M理论的威力，众所周知该理论可以消除奇点问题。事实上，理论物理学家需要有量子引力理论的初衷，本来就是要消除一切超位数（all infinities）。然而林德指出了这一学说中存在的

一个概念上的弱点，即膜从一开始就存在于一种平坦均衡的状态之中。“如果你从理想状态着手，你也许确实能解释眼前看到的现象……但你还是没能解释这个问题：宇宙为什么一定会在理想状态中开始呢？”林德问道。施泰因哈特回答说：“平坦加平坦等于平坦。”换句话说，你只能从一开始就把膜设想为处在最低能量状态上，而在这种状态下它只能是平坦的。

艾伦·古思（Alan Guth）则保持了开放态度。他说：“我想保罗（Paul）和尼尔（Neil）还远未能证明他们的学说。但他们的想法无疑值得一看。”同时，他反过头来又向弦理论家们发起进攻，要求他们解释膨胀学说，“从长远观点来看，我认为弦理论和M理论不可避免地需要把膨胀学说纳入进来，因为膨胀学说显而易见地回答了它所要解决的问题，也就是为什么宇宙是如此均衡而平坦的。”于是他问了这样一个问题：M理论能够推导出膨胀过程的标准图景吗？

最后，还有另一个参与角逐的宇宙理论，它运用的是弦理论。这就是加布里埃莱·韦内齐亚诺（Gabriele Veneziano）的“大爆炸前”（pre-big bang theory）理论，韦内齐亚诺就是早在1968年帮助创立了弦理论的物理学家。根据他的理论，宇宙开始的时候实际是一个黑洞。如果我们想知道黑洞里面是什么样子，我们只须向外看即可。

根据这项理论，宇宙实际已经历了无穷岁月，是在遥远的过去以近乎真空寒冷的状态开始的。引力作用开始在宇宙各处创造出物质的团块，它们逐渐凝缩成一些密度极大的区域，最终变成黑洞。每个黑洞开始形成事件穹界（event horizon），把事件穹界的外部与事件穹界的内部永久分隔开。在每个事件穹界之内，物质继续在引力作用下收缩，直至黑洞最终达到普朗克长度。

这个时候，弦理论开始作用。普朗克长度是弦理论所允许的最小长度。这时黑洞开始以巨大的爆炸力发生反弹，造成大爆炸。由于这一过程可能在宇宙各处反复出现，这意味着，在遥远的地方还可能有其他的黑洞/宇宙。

（我们的宇宙可能是一个黑洞这一想法其实并不像它看起来的那样离谱。我们直觉上认为，黑洞一定有极高的密度，有巨大的、能把一切碾碎的引力场，但实际并不总是这样。黑洞事件穹界的大小是与黑洞的质量成比例的。黑洞的质量越大，它的事件穹界就越大。但是，事件穹界越大，物质铺开的体积就越大；结果，随着质量加大，密度实际会减小。事实上，如果一个黑洞的重量与我们的宇宙一样，它的尺度就会与我们这一宇宙接近，而且它的密度会相当低，可与我们的宇宙相比。）

然而一些天体物理学家对把弦理论和M理论应用于宇宙学不以为然。加利福尼亚大学圣克鲁兹（Santa Cruz）分校的乔尔·普里马克（Joel Primack）就不像其他人那样客气了：“我认为在这件事情上大做文章很愚蠢……这些论文中所提出的想法本质上是无法验证的。”我们只

有让时间去评判普里马克是不是正确的，但因为弦理论的进展步伐在加快，我们也许不久就会找到这一问题的确切答案，它也许会由我们的人造卫星提供。在第9章我们将会看到，2020年之前将送上外太空的新一代引力波探测器，像LISA（引力波探测器），将使我们得以排除或者验证其中一些理论。例如，如果膨胀理论是正确的，LISA探测器应该能探测到原始膨胀过程所产生的剧烈的引力波。然而“火劫宇宙”（ekpyrotic universe）学说预言宇宙之间的碰撞是缓慢发生的，因此引力波也会弱得多。LISA探测器应能从实验的角度排除其中一项理论。换句话说，原始大爆炸产生的引力波所包含的信息，将足以确定哪一种学说正确。LISA探测器将能够首次针对膨胀说、弦理论和M理论给出硬碰硬的实验结果。



微型黑洞

由于弦理论本质上是整个宇宙的理论，所以要对它进行直接测试就需要在实验室中建立一个宇宙（见第9章）。一般情况下，我们预期引力的量子效应会在普朗克能量条件下出现，这比我们最强大的粒子加速器还要强大一百万之四次方（10^{24}。——译者注）倍（quadrillion times），因此不可能对弦理论进行直接测试。但是，如果在离开我们不到1毫米远的地方确实存在着一个平行宇宙，那么，使统一和量子效应出现所需的能量可能就会相当低，我们的下一代粒子加速器，例如大型强子对撞机（LHC）就有能力做到。这反过来又引发了对黑洞物理学的研究热潮，其中最令人兴奋的就是“微型黑洞”（mini-blackhole）。微型黑洞的表现如同亚原子粒子，它们是一种“实验室”，在其中人们可以对弦理论中的一些预言进行测试。有了大型强子对撞机（LHC）就有可能创造出微型黑洞，物理学家们为此而兴奋不已。（微型黑洞小到与一个电子的大小差不多，所以不怕它们会吞下整个地球。一般到达地球的宇宙射线，其能量都超过了这些微型黑洞，但并没有对地球造成不利影响。）

黑洞以亚原子粒子的形象出现，虽然听起来颇具颠覆性，但其实是个早已有之的想法，它是由爱因斯坦于1935年首次提出的。在爱因斯坦看来，肯定存在着一个统一场理论，在其中，由亚原子粒子构成的物质可以被看成是空间时间结构中的某种扭曲现象。在他看来，像电子那样的亚原子粒子实际上是一些“线疙瘩”或卷曲在空间中的虫洞，它们只是在一定距离上看起来像粒子。爱因斯坦和内森·罗森（Nathan Rosen）一起玩味着电子可能实际上是乔装起来的微型黑洞这样一种想法。爱因斯坦以他的方式，想把物质纳入这一统一场理论，它最终会把亚原子粒子降解为纯几何学。

微型黑洞后来又被斯蒂芬·霍金再次提出，他证明，黑洞一定会蒸发，并发射出一丝微弱的能量。黑洞在亿万年间不断地散发能量，以至于逐渐缩小，最终变得像亚原子粒子那样的大小。

弦理论现在又再次引进了微型黑洞的概念。回想一下，黑洞是在大量的物质被压缩到其史瓦西半径（Schwarzschild radius）以内的时候形成的。由于物质和能量可以互相转换，因此黑洞也可以通过压缩能量而制造出来。大型强子对撞机（LHC）是不是能够在14万亿电子伏特的能量下将两个质子对撞，从由此产生的碎块中制造出微型黑洞，对此人们颇为期待。这些黑洞将非常之小，可能只有一个电子质量的1000倍那么重，而且可能只持续10^{-23}秒。但是在LHC（大型强子对撞机）所创造出来的亚原子粒子轨迹中清晰可辨。

物理学家们还希望，外太空的宇宙射线中说不定也包含微型黑洞。设在阿根廷的皮埃尔·奥格（Pierre Auger）宇宙射线观测站非常敏锐，能够探测到科学史上所记录过的几次最大的宇宙射线爆发。由于宇宙射线在到达地球的高层大气时会产生有明显特征的辐射雨（shower of radiation），人们希望，可以从中自然找到微型黑洞。一项计算表明，奥格（Auger）宇宙射线探测器每年或可发现10次由微型黑洞引发的宇宙射线雨（cosmic rays showers）。

说不定在本十年期内，设在瑞士的大型强子对撞机（LHC）或设在阿根廷的奥格（Auger）宇宙射线探测器就会探测到微型黑洞，这可能就会提供出良好证据，证明平行宇宙的存在。虽然它未必能够一劳永逸地证明弦理论是正确的，但它可以使整个物理学界信服，弦理论与所有的实验结果都吻合，是正确的方向。



黑洞与信息悖论

弦理论还可以对黑洞物理学中一些最深刻的悖论做出揭示，例如信息悖论。正如你可能知道的，黑洞并非一片纯黑，而是通过隧穿效应（tunneling）发出少量辐射。根据量子理论，辐射总有那么一点机会逃逸黑洞那像台钳般夹紧的引力。这导致辐射从黑洞中缓慢泄漏，称为霍金（Hawking）辐射。

这种辐射本身又与一定的温度相联系（与黑洞事件穹界的表面积成比例）。对这个方程，霍金做了大量的手势（hand-waving），做了一个概括性的推导。然而，要对这个结果进行严谨的推导，就需要动用统计力学的全部威力（以计算黑洞的各种量子态为基础）。通常情况下，统计力学的计算是通过计数原子或分子能占据多少态来完成的。但你怎样才能计数黑洞的量子态呢？根据爱因斯坦的理论，黑洞是完全光滑的，这样，要计数它的量子态就成了难题。

弦理论家们迫切需要合拢这一缺口，于是，哈佛大学的安德鲁·施特罗明格（Andrew Strominger）和库姆兰·瓦法（Cumrum Vafa）决定运用M理论对黑洞进行研究。由于黑洞本身太难以把握了，他们采用了另一种方式，问了一个聪明的问题：黑洞的对偶是什么？（我们知道，电子是磁单极子的对偶，例如单独一个北极。因此，通过观察弱电场中的一个电子，这很容易做到，我们就可以对一项复杂得多的实验进行分析：放置在非常大的磁场中的磁单极子。）这个想法是，黑洞的对偶会比黑洞本身易于分析，但它们所能得出的最终结果却可能是一样的。经过一系列的数学处理，他们得以证明，黑洞的对偶是一组一位膜和五位膜。这省去了大量的麻烦，因为这些膜的量子态计数已经为人所知。当施特罗明格和瓦法计算量子态的数量时，他们发现，其结果分毫不差地再现了霍金所得出的结果。

这是个皆大欢喜的消息。弦理论有时被嘲笑为与现实世界不相干，结果却为黑洞热力学提供了可能是最为优雅的解。

现在，弦理论家们正试图解决黑洞物理学中最大的难题："信息悖论"。霍金曾经论证说，如果你把什么东西扔进黑洞中去，那么它所携带的信息就永远丢失了，再也找不回来。（要进行一项无懈可击的犯罪，这可是个妙招。因为扔进黑洞里去的信息会永远消失，罪犯可以利用黑洞来销毁一切犯罪证据。）从一定的距离上，我们可以测量黑洞的唯一参数就是它的质量、自旋和负荷。不论你把什么东西扔进黑洞，你就失去了它的一切信息。（"黑洞无毛"这一说法指的就是这个，即，一切信息都丢失了，除了这三个参数外，连一根毛也没留下。）

根据爱因斯坦的理论，信息从我们这个宇宙中消失似乎是不可避免的结果，但这违反了量子力学的原理。根据量子力学，信息永远不可能真正消失。信息一定会飘荡在我们宇宙中的某个地方，哪怕原来那个物体被喂了黑洞。

“多数物理学家愿意相信，信息没有丢失，”霍金写道，“只有这样，世界才是安全的，可预知的。但我相信，如果我们认真看待爱因斯坦的广义相对论，我们就必须接受，空间时间有可能把自己打成了绳结，信息有可能在褶缝中消失。确定信息是不是真的会消失，是当今理论物理学要解决的主要问题之一。”

这项使霍金陷入与多数弦理论家论争的悖论到现在也还没有解决。但弦理论家们打赌，我们最终会找到失去的信息究竟去了哪里。（例如，如果你把一本书扔进黑洞，而蒸发着的黑洞有霍金辐射，不难想象书中所包含的信息会以霍金辐射所包含的微小振动的形式慢慢溜回我们的宇宙中。或者，它会从黑洞另一端的白洞中再冒出来。）这就是为什么我个人觉得，当有人最终计算出当信息消失在弦理论中的黑洞以后会发生什么情况时，他们会发现，信息没有真正丢失，而是以微妙的形式在其他地方再次出现。

2004年，霍金的态度令人吃惊地逆转，他在电视的镜头前声明他对有关信息问题的看法错了，因而上了《纽约时报》的头版。（30年前他和其他的物理学家打赌，说信息绝不会泄漏到黑洞的外面，谁要是输了，就要给赢者一本容易提取信息的百科全书）。他重新进行了某些他早期的计算，得出结论说：如果一个像书这样的物体掉进黑洞，这样的物体可能会干扰黑洞发射的辐射场，使信息泄漏到宇宙中。书中所含的信息会编码在辐射中，慢慢泄漏出黑洞，但是是以一种被毁坏的形式向外泄漏的。

一方面，这样一来霍金就与大多数相信信息不会丢失的量子物理学家一致了。但是它也提出这样一个问题：信息可以传递到平行宇宙中去吗？在表面上，他的结果对信息可以通过白洞传递到平行宇宙的想法产生了疑问。然而，没有人相信这是该课题的最后结论。在弦理论完全建立之前，或进行完全的量子引力计算之前，没有人相信信息悖论会得到完全解决。



全息宇宙

最后，M理论还有一项相当神秘的预言，至今仍没有人能理解，但可能在物理学和哲学方面产生影响。而且这个结果让我们不得不问这样一个问题：宇宙是一幅全息图吗？有没有一个“影子宇宙”（shadow universe），我们的身体以压缩的二维形式存在其中？这就又提出了另一个同样令人不安的问题：宇宙是一个计算机程序吗？可以把宇宙放到一张CD光盘上，供我们在闲暇之余播放吗？

现在，信用卡上、儿童博物馆以及游乐园等地方都可以看到全息图。它们的不寻常之处在于，它们可以在二维平面上再现完整的三维图像。一般情况下，当我们看着一幅照片，然后转动我们的头部时，照片上的图像不会有变化。但全息图不同。当我们看着一幅全息图，并移动我们的头部，我们发现图片在变化，就像我们从窗户里或钥匙孔里看东西一样。

（全息图有可能最终使人生产出三维电视和电影。将来，也许我们会在自己的起居室中一边休息，一边欣赏着墙上的屏幕，那上面展示着遥远地方的完整的全息图像，看壁挂电视犹如从窗户里望着一片崭新的风景。另外，如果壁挂屏幕做成筒状，把我们的起居室安排在它的当中，我们就会觉得仿佛来到了一个新世界。无论我们朝哪里看，我们见到的都是这个新世界的三维图像，与真实世界难辨真伪。）

全息图的实质，是它的二维平面包含了再现三维图像的所有信息。（在实验室中制作全息图，是用激光照射感光片，并使光线与原有光源上发出的激光产生干涉。两个光源的干涉产生出一个干涉图像，将形象“冻结”在二维感光片上。）

有些宇宙学家推测，这也可能运用到宇宙本身，也可能我们就生活在全息图中。这一奇特的猜测源自黑洞物理学。贝肯斯坦（Bekenstein）和霍金推测，黑洞中包含的全部信息量与事件穹界的表面积（是球形的）成比例。这是个奇怪的结论，因为通常一个物体中所存放的信息是与其体积成比例的。例如，一本书中所存有的信息量是与这本书的大小，而不是与其封面的表面积成比例的。我们凭直觉就知道，不能以封面来评判一本书。但这种直觉对黑洞不起作用：我们可以从黑洞的表面了解它的全部。

我们可以不去理睬这一奇特的假说，因为黑洞本身就是一种怪异的东西，在它们那里，正常的直觉都不起作用。然而，这个结果对M理论也适用，而M理论可以对整个宇宙做出我们最好的描述。1997年，现在

在普林斯顿大学高等学术研究所工作的胡安·马尔达塞纳（Juan Maldacena）证明，弦理论可以推导出一种新型的全息宇宙学说，引起了不小的轰动。

他从一个经常出现在弦理论和超引力理论中的五维“反德西特尔”（anti-de Sitter）宇宙着手。德西特尔（de Sitter）宇宙有一个正的宇宙常数，造成一个加速膨胀中的宇宙。（我们记得，我们的宇宙当前最好的表示是德西特尔宇宙，具有一个宇宙常数以越来越快的速度将星系推开，反德西特尔宇宙则有一个负的宇宙常数，因此会引向内爆）。马尔达塞纳证明，在这一个五维宇宙与它的“边界”之间存在着对偶性，而这个“边界”则是个四维宇宙[16]。尤为奇怪的是，任何生活在这个五维空间的生灵，从数学上说就等于生活在这个四维空间的生灵。没有任何办法可以把它们区分开。

让我们做一个粗略的比喻，设想在鱼缸中游弋的金鱼。这些鱼认为它们的鱼缸就等于全部现实世界。现在再设想，这些金鱼的二维全息图像被投射到了鱼缸的表面。这一图像精确再现了原来的金鱼，只不过它们现在是平面的。鱼缸中金鱼的每个动作都在鱼缸表面的平面图像中得到反映。在鱼缸中游动的鱼和生活在鱼缸表面平面图像中的鱼都认为它们自己是真鱼，对方是幻象。两种鱼都是活的，都像真鱼一样地活动。那么哪种说法是正确的？事实上两者都对，因为它们在数学上是相等的，无法区分的。

使弦理论家们感到兴奋的是，五维反德西特尔空间是相对比较容易计算的，而四维场论则是出了名的难以把握。（即使是在今天，经过了几十年的艰苦努力，我们最强大的计算机仍然无法解出四维夸克模型，得出质子和中子的质量。夸克方程本身相当容易理解，但是事实证明，在四个维度中解这些方程，以便得出质子和中子的特性要比原来想象的困难。）其中一个目标，就是运用这一奇异的对偶性来计算质子和中子的质量和特性。

这一全息对偶性还可以有一些实际用途，例如用来解答黑洞物理学中的信息悖论。在四个维度中，要想证明我们把物体扔进黑洞之后信息并没有丢失，是极度困难的。但是这样一个空间是一个五维世界的对偶，在五维世界中，信息永远不会丢失。人们希望，在四个维度中很难解决的问题（如信息悖论难题、计算夸克模型的质量等）最终可以在五个维度中解决，五个维度中的数学要简单些。而且始终有这种可能：这个比喻实际上确实反映了真实世界，我们确实是作为全息图像存在着。



宇宙是一个计算机程序吗？

我们前面已经提到过，约翰·惠勒相信所有的物理现实都可以被降解为纯信息。贝肯斯坦把黑洞信息的思想又向前推进一步，进入了一个未知水域，他问：整个宇宙会是一个计算机程序吗？我们有可能只是一张宇宙CD光盘上的二进制数位吗？

关于我们是不是生活在计算机程序中这个问题，被《黑客帝国》（*The Matrix*）这部影片绝妙地搬上了银幕，那些外星人把一切物理现实都降解为一套计算机程序。亿万的人类都以为自己在过着日常生活，忘记了这一切只不过是由计算机创造出来的幻觉，而他们的真身则在舱室中熟睡，被外星人当做能源来使用。

在这部影片中，你可以运行较小一点的计算机程序，用以产生出微型的人工现实。如果谁想要成为功夫大师或直升机飞行员，只需在计算机中插入一张CD光盘，程序就输入我们的大脑，刹那间人就学会了这些复杂的技能。随着CD光盘运行，一个全新的亚现实被创造出来。但这又提出了一个饶有兴味的问题：现实中的一切真的都可以放在一张CD光盘上吗？要给亿万熟睡中的人类模拟出现实来，所需要的计算机威力绝对惊人。但从理论上来说：真的可以把整个宇宙数字化，存放在一段有限的计算机程序中吗？

这个问题的根源要回溯到牛顿的运动定律，它在商业活动和我们的日常生活中有非常实际的应用。马克·吐温的一句话很出名：“每个人都在抱怨天气，但从未有人为此着手做些什么。”现代文明哪怕连一场雷雨的过程都改变不了，所以物理学家所提出的问题比这要简易：我们能够预测天气吗？能不能设计出一个计算机程序，用它来预报地球上复杂的天气变化过程？对于每个关心天气的人，从想要知道什么时候可以收获庄稼的农民，到想要知道本世纪全球变暖过程的气象学家来说，这是一项非常实际的应用。

原则上来说，计算机可以利用牛顿的运动定律，对构成天气的分子的活动过程做任意精确度的计算。但实践中，计算机程序是极其粗略的，最多只能对几天的天气做预报，超出这个范围就不可靠了。要预测天气，需要确定每个空气分子的运动——这超出了我们最强大的计算机的能力若干个数量级；还有“混沌理论”和“蝴蝶效应”的问题，蝴蝶翅膀的哪怕最微小的一次振动都会造成连锁反应，如果它发生在某些节骨眼上，就会从几百英里之外对改变天气产生决定性的影响。

数学家们对这一情况作了总结，说可以对天气做精确描述的最小模

型是天气本身。不对每个分子做微观分析，最好的办法是对明天的天气做估测，以及对大趋势和大格局（如温室效应）做估测。

所以，要按照牛顿学说把世界分解为计算机程序是极其困难的，因为有太多的变量，太多的“蝴蝶”。但是在量子世界中，则会发生奇异的事情。

我们前面已经看到，贝肯斯坦证明，黑洞所含的全部信息量与黑洞事件穹界的表面积成比例。有一种直观的办法来理解这一点。许多物理学家相信，最小的可能长度是10^{-33}厘米的普朗克长度。这是个小到难以置信的距离，这时空间时间不再光滑，而变成“泡沫状”，像发起了一堆泡泡。我们可以把事件穹界的球面分割成很小的正方形，每个都是普朗克长度那么大。如果每个正方形中都存有一些信息，那么当我们把所有的正方形加起来，就大致得出黑洞中存有的全部信息量。这似乎就表示，每一个“普朗克正方形”就是一个最小的信息单位。如果事实如此，那么贝肯斯坦就声称，也许信息才是物理学的真正语言，而不是场论。如他所说：“场论由于包含无穷性，所以不可能成为最终答案。”

如我前面提过的，自从有了迈克尔·法拉第（Michael Faraday）在19世纪所做的那些工作，物理学一直是以场的语言来描述的，场是光滑连续的，在空间时间中的任何一个点上对磁力、电力、引力等的强度进行测量。但场论是以连续性的结构，而不是数字化的结构为基础的。场可以有任何值，而数字化的数字只能代表以0和1为基础的具体数字。这种区别就如同符合爱因斯坦理论的一块光滑的橡胶垫和一张细密的金属丝网之间的差别。橡胶垫可以被分割成无穷数量的点，但金属丝网则有最小的距离，也就是网孔的长度。

贝肯斯坦提出：“终极理论决不应是场的理论，甚至也不应是空间时间的理论，它应该是有关物理过程中信息交换的理论。”

如果宇宙可以被数字化，并可以被降解为0和1，那么宇宙的信息总量是多少呢？贝肯斯坦估算，大约1厘米见方的黑洞可存有10^{66}比特（bits）的信息。但是如果一个1厘米见方的物体可以存有大量比特的信息，那么他估计，可见宇宙所存有的信息可能要多得多，绝不少于10^{100}比特的信息（原则上可以被塞进一个直径为十分之一光年的球体中。这个巨无霸数字是1之后跟着100个0，被称为一个“古戈尔〔googol〕”）。

如果这幅图景是正确的，那么我们就面临着一个奇怪的局面。它可能意味着，虽然以牛顿学说描述的世界不能被计算机模拟（或只能由一个与它一样大的系统来模拟），但在量子世界中，也许宇宙本身可以被放在一张CD光盘上！从理论上说，如果我们可以把10^{100}比特的信息放到一张CD光盘上，那我们就可以在自己的起居室中坐看宇宙中的任何事件在自己眼前展开。原则上我们可以把这张CD光盘上的字节重新安排或编程，让物理现实以不同的方式展开。从某种意义上来说，人就可以拥

有像上帝一样的能力来改写脚本。

（贝肯斯坦也承认，宇宙的全部信息量可能比这要大得多。事实上，能够包容宇宙信息量的最小容积可能就是宇宙本身。如果这是正确的，那么我们就又回到了原来的起点：能够模拟宇宙的最小系统就是宇宙本身。）

然而弦理论对于“最小距离”以及我们是否能够把宇宙数字化并存放到一张光盘上去，提出了一个略有不同的解释。M理论具有所谓的T对偶性。我们还记得古希腊哲学家芝诺（Zeno）说过，一条线可以被分割为无穷数量的点，永无止境。但今天，像贝肯斯坦那样的量子物理学家相信，最小的距离可能是普朗克距离，是10^{-33}厘米，在那个尺度上，空间时间会变成泡泡状。但M理论对此又有新说法。比方说，我们采用弦理论，把一个维度包裹进一个半径为R的圆环中。然后我们取另外一个弦理论，把一个维度包裹进一个半径为$1/R$的圆环中。对比这两个相当不同的理论，我们发现它们完全一样。

现在让R变为非常小，比普朗克长度还要小得多。这意味着普朗克长度以内的物理学与普朗克长度以外的物理学完全一致。在普朗克长度上，空间-时间可以变为团团块块的泡沫状，但普朗克长度以内的物理学和非常大距离上的物理学则会是平滑的，实际上完全一致。

这种对偶性是1984年由我原来的同事，大阪大学的吉川圭二和他的学生山崎雅美（Masami Yamasaki）首次发现的。虽然弦理论看似得出结论，认为存在一个“最小距离”，即普朗克长度，但物理学并不以普朗克长度而戛然中止。在这一新发现中，小于普朗克长度的物理学与大于普朗克长度的物理学相等。

如果这一颇富颠覆性的解释是正确的，那就意味着，即使是在弦理论中“最小的距离”以内，也可以有一个完整的宇宙。换句话说，即使是在大大小于普朗克能量（Planck energy）的距离之内，我们依然可以运用场论及其连续性结构（而非数字化结构）来描述宇宙。所以，也许宇宙根本不是一个计算机程序。不管怎么说，由于这是个有明确定义的问题，所以时间会做出评判。

（这个T对偶性说明我早些时候提到的韦内齐亚诺〔Veneziano〕“大爆炸前”的假想是合理的。根据该模型，黑洞坍塌至普朗克长度，然后发生“反弹”，再次发生大爆炸。这种“反弹”不是一种突然发生的事件，而是在小于普朗克长度的黑洞与大于普朗克长度的膨胀中的宇宙之间的一种平滑的T对偶性。）



到尽头了吗？

如果M理论获得成功，如果它的确是一项包罗万象的理论，那么它是否就是我们所知的物理学的尽头呢？

回答是“不”。让我举个例子。虽然我们懂得象棋的规则，但懂得规则并不能使我们成为象棋大师。同理，知道了宇宙的法则，并不意味着我们在理解其丰富多样的解方面成了大师。

我个人认为，把M理论应用于宇宙学可能还为时过早，尽管它以令人惊异的方式为宇宙是如何开始的描绘了一幅新图景。我认为，主要的问题在于这个模型还没有最终定型。M理论很有可能成为包罗万象的理论，但我相信它还远未完善。这个理论自1968年起就在倒行着发展，而它的最终方程式至今仍未找到。（例如，吉川和我多年前证明了弦理论可以通过弦场论形成。但M理论中与此对应的方程式现在还没人知道。）

M理论面临着若干问题。其一是物理学家现在沉溺在*p*膜中了。发表了一系列的论文，试图把各个维度中可以存在的多到令人眼花缭乱的各类膜进行归类。有些膜的形状像是带有一个洞的面包圈，有的像是带有多个洞的面包圈，还有互相交叉的膜，等等。

这使人想起了盲人智者摸象的寓言。每个人摸到了象的不同部位，于是就得出了不同的理论。一个盲人智者摸到了尾巴，于是说大象是一种一位膜（弦）。另一位智者摸到了耳朵，于是说大象是一种二位膜（膜）。最后一位说前两位都错了。他摸到的是象腿，感觉像树干一样，这第三位智者就说大象实际是一种三位膜。因为他们是盲人，他们无法看到整体的画面，不知道一位膜、二位膜和三位膜加在一起只是叫做大象的这同一种动物。

同样，很难相信，M理论中所发现的几百种膜能够有什么根本性的意义。目前我们对M理论还没有形成全面理解。根据我目前所做的研究工作，我个人的观点是，这些膜和弦代表的是空间的“缩影”（condensation）。爱因斯坦试图以纯几何方式来描述物质，把它们看做是时空结构中的某种“线疙瘩”。例如，如果我们的床单上出现了一个线疙瘩，这个线疙瘩会发展，如同它自己有生命一样。爱因斯坦试图建立电子和其他基本粒子的模型，把它们比做时空几何中的某种紊乱现象。虽然他最终失败了，但这一想法可以在M理论中高得多的层面上再生。

我相信爱因斯坦的路子是对的。他的想法是通过几何学来产生亚原子物理学。爱因斯坦的策略是为点状粒子找出几何模拟（geometric analog），但我们可以对此进行修改，为由纯空间时间构成的弦和膜建立一个几何模拟。

要理解这一方法的逻辑，一种方法是回顾一下物理学的历史。过去，每当物理学家面临依次排列的一系列客体时，我们就会意识到其根源处一定有某种更具根本性的东西。例如，当我们发现氢气散发出的光谱线时，我们最终意识到，它们源自原子，源自电子围绕原子核旋转时作出的量子跃迁。

同样，在20世纪50年代，当物理学家们遇到强粒子（strong particles）的扩散现象时，最后意识到它们不过是夸克的一些界态（bound states）。而当面临标准模型中夸克和其他“基本”（elementary）粒子的扩散现象时，多数物理学家现在相信它们起源于弦的振动。

在M理论中，我们面临的是各种各样*p*膜的扩散。难以相信这是一种带有根本性的现象，因为*p*膜实在太多了，同时也因为它们天然带有不稳定性和发散性。还有一种简单些的办法，与追溯历史的办法相一致，是假定M理论源自于一种更为简单的范式，可能就是几何学本身。

要想解决好这个根本问题，我们需要懂得这个理论的物理学原理，而不仅是其艰涩的数学原理。正如物理学家布莱恩·格林（Brian Greene）所说的：“目前，弦理论家的处境与爱因斯坦没有找到等效原理相似。自从1968年韦内齐亚诺有深刻见解的猜测提出以来，一项发现加一项发现，一次革命又一次革命，这项理论被逐步拼凑起来了。但是，仍然缺少一项起核心组织作用的原理，把这些发现以及这个理论的所有其他特性总揽到一个能够包罗万象的成体系的框架之中，在其中，每一个具体组成都是绝对不可缺少的。这个原理的发现，将标志着弦理论发展中的一个转折点，它将以前所未见的清晰度揭示出这项理论的内在工作原理。”

它还将告诉人们，迄今为止为弦理论找到的数以百万计的解究竟意味着什么，它们每一个都代表着一个完全自成一体的宇宙。过去曾经认为，在这些数不清的解中，只能有一个解可以代表弦理论的真解。但今天，我们的想法已有了变化。迄今为止，还没有任何一种方法可以从迄今已发现的数以百万计的宇宙模式中单单挑出一个来。有越来越多的意见认为，如果我们无法为弦理论找到一个独一无二的解，那么就有可能根本不存在这样一个解。所有的解都一样。有的只是由许多宇宙构成的多元宇宙（multiverse of universes），每一个都符合所有的物理法则。这就把我们引向了所谓的“人择原理”（anthropic principle）以及存在着“设计者宇宙”（designer universe）的可能性。

第8章　设计者宇宙？

在这个体系被构建出来之前的无穷岁月中，或许也有过无数的宇宙七拼八凑生生灭灭；耗费了大量的劳动，多少次尝试无果而终，而在这无穷岁月中，创造世界的技艺改进了，尽管缓慢，但从未中断。

——大卫·休谟（David Hume）

在我还在读小学二年级的童年，我的老师不经意地说过一句话，使我永生不忘。她说："上帝太爱地球了，所以他把地球放在了离太阳正合适的距离上。"作为一个6岁的孩子，这一简单而有力的论断使我恍然大悟。如果上帝把地球放得离太阳太远，那么海洋就会冻结。如果他把地球放得太近，那么海洋就会被煮沸。对于她来说，这不仅意味着上帝确实存在，而且他还是仁慈的，他那么爱地球，所以他把地球放在离太阳正合适的距离上。这使我深受触动。

今天，科学家们说地球生活在离开太阳一定距离的"金凤花区域"（Goldilocks　zone，适居带）中，正好可以使液态水这种"万能溶剂"存在，以便进行能产生生命的化学反应。如果地球离开太阳再远些，它可能就变得像火星一样，是一片"冰封沙漠"，冰点温度在那里造成了严酷荒凉的地表，水甚至是二氧化碳都通常被冻成固体。即使是在火星土壤下面，人们找到的也是永冻带，一层永久冻结的水。

如果地球和太阳靠得近些，那么它可能就会更像金星，它的大小与地球几乎完全一样，但大家都知道它是个"温室行星"。由于金星太靠近太阳，由于它的大气是由二氧化碳构成的，所以太阳光的能量被金星捉住不放，使温度飙升到900华氏度（500℃）。由于这个缘故，在太阳系中平均来看，金星是最热的行星。硫黄酸雨、100倍于地球的大气压力、炙热的温度，这一切使金星成了太阳系中可能最像地狱的行星，这主要是因为它比地球离太阳近的缘故。

对我的小学二年级老师的论点进行分析的时候，科学家会说，她的说法就是"人择原理"的一个例子，根据此说，自然法则是特意安排的，这样才使生命和精神意识成为可能。这些法则究竟是来自某种更伟大的设计安排，还是意外造成的，一直是个大有争议的话题，尤其是近些年来更是如此，因为发现了大量的"意外事件"或巧合，是它们使得生命和精神意识成为可能。对一些人来说，这证明有一个神，他有意把自然法则安排成使得生命，以及我们人类成为可能。但对另一些科学家来说，这意味着我们是一连串"幸运巧合"的副产品。或者也许，如果你相信膨胀学说及M理论的一些流派的话，还存在着由许多宇宙构成的多元宇宙。

要想理解这些观点的复杂性，首先来想一想那些使得地球上的生命

成为可能的“意外”和巧合。我们不仅生活在太阳的金凤花区域（适居带）之内，我们还生活在一系列其他的金凤花区域（适居带）之内。例如，我们的月球的大小正好可以稳定地球的轨道。如果月球比现在小得多，即使地球自转中少许的动荡，都会在几千万年期间慢慢积聚，使地球摇晃到灾难性的地步，导致剧烈的气候变化，使生命成为不可能。计算机程序显示，如果月球不够大（大约是地球大小的三分之一），地球的轴线在几百万年期间可能会移动高达90度。由于科学家们相信，产生DNA需要有几亿年的稳定气候，所以如果地球轴线周期性地倾斜，会给天气造成灾难性的变化，使得DNA的创造成为不可能。幸运的是，我们的月球大小“正合适”，可以稳定地球的轨道，所以这种灾难不会发生。（火星的几个卫星不够大，不能稳住它的自转。结果，火星正慢慢进入又一个不稳定时期。天文学家相信，过去火星在其轴线上的摇晃可能高达45度。）

由于小的潮汐力的作用，月球也在以大约每年4厘米的速度离开地球；20亿年以后，它将离开地球太远，不再能稳定地球的自转。这对于地球上的生命会产生灾难性的后果。几十亿年以后，由于地球在其轨道上翻滚，不仅夜空中不再有月亮，我们所看到的星座也会完全不同。地球上的天气会变得无法辨认，使生命无法持续。

华盛顿大学的天文学家彼得·D．沃德（Peter D．Ward）和唐纳德·布朗利（Donald Brownlee）写道：“没有月亮就会没有月光，没有月份，没有神经病，没有阿波罗计划，诗词的数量会减少，这个世界上每天晚上都会黑暗阴沉。没有月亮还可能就没有了鸟类、红杉、鲸、三叶虫，或其他高级生命来打扮地球。”

同样，我们太阳系的计算机模型显示，太阳系中有木星，对于地球生命来说是个万幸的事，因为它的巨大引力帮助把小行星甩进外太空。35亿至45亿年前的“陨石时代”期间，几乎用了10亿年的时间才把小行星碎片和太阳系形成后遗留下来的彗星从我们的太阳系中“清理干净”。如果木星比现在小得多，它的引力弱得多，那么我们的太阳系至今仍会充斥着小行星，它们会栽进我们的海洋，毁灭生命，使地球上的生命产生成为不可能。所以，木星同样也是“大小正合适”。

我们还生活在行星质量的适居带内。如果地球再小一点，它的引力就会太弱，无法保持其氧气。如果它太大，那么它会保持住许多原始的有毒气体，使生命成为不可能。地球的重量“正合适”，使它保持住有益于生命的大气成分。

我们还生活在行星容许轨道的适居带内。尤其是，除了冥王星之外，其他行星的轨道都近乎圆形，这意味着太阳系中的行星之间的影响会很罕见。这也就是说，地球不会与任何巨型气体星球靠得太近，因它们的引力会很容易地破坏地球轨道。这又是有助于生命产生的，地球需要几亿年的稳定环境。

同样，地球也存在于银河系的适居带内，离开其中心有2/3的距离。如果太阳系离银河系的中心太近，那里隐藏着一个黑洞，其辐射场强大到使生命不可能。但是如果太阳系离得太远，就不会有足够的高级元素，无法创造生命所必需的元素。

科学家可以举出许多例子，说明地球位于数不胜数的适居带之内。天文学家沃德（Ward）和布朗利（Brownlee）论证说，我们生活在这么多的窄频带或金凤花区域中，说不定地球上的智慧生命的确是银河系中，甚至是宇宙中独一无二的。他们列举一系列令人叹服的事实，说明地球上海洋、板块构造、氧气含量、热含量、地球轴线的倾角，如此等等的数据都“正合适”创造智慧生命。如果地球处于所有这些非常狭窄的频带中的哪怕一个之外，都不会有我们在这里谈论这个问题了。

难道真是因为上帝爱地球，才把它放置在所有这些适居带当中？有可能。然而，我们也可以得出另外一个无需借助神力的结论。也许宇宙中有几百万颗死行星，它们确实离自己的太阳太近，它们的月亮太小，它们的木星太小，或者它们离自己的银河系中心太近。换句话说，对于地球来说存在着适居带未必意味着上帝情有独钟；它可能仅仅是个巧合，是宇宙中几百万个死行星中的一个罕见的特例，其他的都处于适居带之外。

古希腊哲学家德谟克利特（Democritus）提出了存在着原子的假说，他写道：“有无穷数量的世界，大小各异。有些世界既无太阳也无月亮。有些则不止一个太阳和月亮。各个世界之间的距离是不等的，在有些方位上世界的数量多些……如果它们互相碰撞，它们就毁灭了。有些世界中没有动植物生命，没有任何湿度。”

事实上，到了2002年，天文学家已发现了100颗太阳系外行星在围绕着自己的恒星转。现在每两个星期左右就会发现一颗太阳系外行星。由于太阳系外行星自己不发光，天文学家们是通过各种间接方式找到它们的。最可靠的办法是观察母恒星有没有晃动，当有金星大小的行星围绕着它转的时候，它会前后晃动。通过对晃动的恒星所发射的光的多普勒频移（Doppler shift）进行分析，可以计算出它移动得有多快，并可以运用牛顿定律计算出它的行星的质量。

“你可以把恒星和它的大行星看做像舞伴一样旋转到各个方向，手攥在一起向外伸出着。转大一点的圈子时，外侧的小一点的舞伴移动的距离要长一些，内侧的大一点的舞伴则只是在很小的圈子里挪动脚步——而在那个很小的内圈上显示出来的那种挪动就是我们从这些恒星上看到的‘晃动’。”卡内基研究所的克里斯·麦卡锡（Chris Mc Carthy）说。这种方法现在非常精确，对一颗几百光年远的恒星，我们可以探测到以每秒钟3米的速度出现的微小振动（轻健步伐的速度）。

还有人提出了更为别出心裁的方法来发现更多的行星。其中一种是在行星遮挡母恒星的时候找到它，当行星在恒星面前通过时，会使恒星

的亮度稍微减弱。而且15到20年之内美国航空航天局（NASA）将把它的干涉空间卫星（Interferometry Space Satellite）送入轨道，它将能够找到外太空中较小的像地球一样的行星。（由于母恒星的亮度盖住了行星，这颗NASA的卫星将利用光干涉来消除掉母恒星强烈的光晕，从而除去类似地球的这颗行星的面纱。）

迄今为止，我们所发现的有木星大小的太阳系以外的行星中没有一颗像我们的地球，而且可能都是死星球。天文学家是在高度偏心的轨道，或者离母恒星非常近的轨道上找到它们的；在这两种情况中，都不可能有位于适居带之内的类似地球的行星。在这种太阳系中，木星大小的行星会穿过适居带，把任何像地球一样的小个行星抛入外太空，阻止我们所知的生命形式产生。

高度偏心的轨道在太空中很普遍，实际上普遍到了当在太空中发现了一个“正常”太阳系的时候，它成了2003年的报纸头条新闻。美国和澳大利亚的天文学家都预言了会发现围绕着HD70642恒星旋转的一颗木星大小的行星。这颗行星（大约是我们的木星的两倍大）的不寻常之处在于，它有一个圆形轨道，其比例与我们的木星至太阳的比例大致相同。

但是将来，天文学家将能够把附近所有的恒星都归类，从中寻找与太阳系相近的恒星系。“我们正努力把所有距离最近的2000颗类似太阳的恒星纳入观测，也就是所有150光年以内的类似太阳的恒星。”华盛顿卡内基研究所的保罗·巴特勒（Paul Butler）说。他参与了1995年第一次太阳系以外的行星的发现。他说：“我们的目标是双重的，即，对我们在太空中最近的邻居做侦察，做第一次普查；以及为解答我们自己的太阳系究竟有多普遍或者说有多罕见这个基本问题提供第一手资料。”



宇宙意外

要能够创造生命，我们的行星必定经历了几亿年的相对稳定。但是，要想制造一个稳定几亿年的世界，其难度是惊人的。

首先从原子的结构来看，质子的重量略小于中子。这意味着中子最终会衰变为质子，质子的能态要低一些。只要质子再多重1%，它就会衰变为中子，这样所有的核子（nuclei）就会变得不稳定，并且解体。原子会飞散开来，生命也就不可能了。

另一项使生命成为可能的宇宙意外，是质子是稳定的，不会衰变为反电子（antielectron）。实验证明，质子的寿命绝对是天文数字，它比宇宙的寿命要长得多。为了制造稳定的DNA，质子必须稳定至少几亿年。

如果强核力稍微弱一些，像氘那样的核子就会飞散，那么宇宙中就没有一种元素可以通过核合成在恒星内部成功组合。如果强核力稍微强一些，恒星的核燃料会燃烧得太快，生命就不会存在了。

如果我们改变弱核力的强度，我们会发现，生命又不可能了。中微子是通过弱核力活动的，它们在承载爆发中的超新星的能量方面起着关键作用。这种能量反过来又负责创造比铁更高等的元素。如果弱核力稍弱一些，中微子将很难起任何相互作用，这就意味着超新星无法创造超过铁的元素。如果弱核力稍强些，中微子就可能无法正常逃脱恒星的核心，因此又不能创造出构成我们的身体及世界的高等元素。

事实上，科学家列出了长长一份这类“惊喜的宇宙意外”的单子。当看着这份不得不接受的单子，看到有那么多熟悉的宇宙常数处在使生命成为可能的非常狭窄的频带之中，真是令人震惊。这些意外中只要有一个被改变，恒星就将永远不会形成，宇宙就会灰飞烟灭，DNA就不会存在，我们所知道的生命就成为不可能，地球就会翻转或者冻结，等等。

为了说明这一切令人惊讶到了什么程度，天文学家休·罗斯（Hugh Ross）把这与“龙卷风在袭击废车场时凑巧完整地装配成一架波音747飞机的可能性”相比。



人择原理

所有上面提出的这些论点回过来又被归入到“人择原理”的名下。关于这项有争议的原理，你可以持几种不同的态度和观点。我前面提到过，我的小学二年级老师觉得这些“惊喜巧合”说明存在着一个宏大的设计或规划。正如物理学家弗里曼·戴森（Freeman Dyson）一次说过的：“似乎宇宙知道我们要来了。”这是“强人择原理”的一个例子，它认为，物理常数是经过精细调节的，它不是意外，而是暗示出存在着某种设计。（“弱人择原理”只是简单地说，宇宙中的物理常数本来就有可能创造生命和精神意识。）

物理学家唐·佩奇（Don Page）对多年来提出的各种形式的人择原理进行了归纳：

- 弱人择原理——“我们对宇宙所做的观察，都限于我们作为观察者所需要的生存条件。”
- 强的弱人择原理——“宇宙中存在许多世界……其中至少有一个世界必定会产生出生命。”
- 强人择原理——“宇宙必定具有在一定的时候产生出生命的特性。”
- 最终人择原理——“宇宙中必然会发展出智慧，它一旦产生就再也不会灭绝。”

维拉·基斯佳科夫斯基（Vera Kistiakowsky）是麻省理工学院的一位物理学家，很认真看待强人择原理，宣称这是存在上帝的一个标志。她说：“我们对物理世界的科学认识所揭示的这种精妙秩序只能由神性来解释。”还有一位支持这一观点的物理学家是约翰·波尔金霍恩（John Polkinghorne），他是一位粒子物理学家，放弃了在剑桥大学的职位，成了一位英格兰教会的牧师。他写道：宇宙不是“随便一个什么信手拈来的世界”，它是专门为生命而精确调试过的，因为它是造物主的创造，是他让它成为这个样子的。艾萨克·牛顿所提出的概念，是一些颠扑不破的法则，它们无须神的干预就可以应用于行星和恒星，但事实上，他本人相信这些优雅的法则都指向上帝的存在。

但物理学家和诺贝尔奖获得者史蒂文·温伯格（Steven Weinberg）对此不相信。他承认人择原理有其吸引人之处：“人类几乎不得不相信我们与宇宙有某种特殊关系，不得不相信人类的生命不只是宇宙最初3分钟内一系列意外所造成的多少有些可笑的产物，不得不相信在某种意义上我们从宇宙一开始就被安排在其中。”然而他得出的结论是，强人择原

理“比神秘主义的晦涩胡说强不了多少”。

其他人对人择原理的力量也不大信服。已故物理学家海因茨·帕格尔斯（Heinz　Pagels）一度被人择原理所打动，但最终对它失去了兴趣，因为它不具备预测功效。这个理论是无法测试的，也没有任何办法从中提取新信息。相反，它所能提供的只是无穷无尽的空洞的同义反复，例如：因为我们存在，所以我们存在之类。

古思（Guth）也否定人择原理，他说：“我觉得难以相信，会有什么人在能对事物做更好的解释时还会采用人择原理。我倒是愿意听听世界历史的人择原理……人择原理是一种人们在想不出有什么更有益的事情可做时才会做的事情。”



多元宇宙

另外一些科学家，像剑桥大学的马丁·里斯（Martin Rees）爵士，相信所有这些宇宙意外证明存在着多元宇宙。里斯（Rees）相信，出现这几百项“巧合”的频率小到难以置信的程度，而我们正生活于其中，这是个事实，要解释这个事实，唯一的办法就是假定存在着几百万个平行宇宙。在这个由许多宇宙组成的多元宇宙中，多数宇宙都是死的。质子是不稳定的。原子从不凝聚。DNA从来没有形成。宇宙还未发育成熟就坍塌，或几乎直接就冻结了。但在我们这个宇宙中，一系列宇宙意外发生了，这并不是因为上帝出手干预了，而是统计学上的平均律使然。

从某种意义上来说，在推崇平行宇宙思想的人中，马丁·里斯爵士是最令人意想不到的一位。他是英格兰皇家天文学家，在代表该机构对宇宙的看法方面负有重大责任。里斯满头银发，仪表出众，穿着方面无懈可击，他不论是谈论宇宙的奇迹还是谈论一般公众关心的话题时都同样雄辩在行。

他相信，宇宙是经过“精心调试”的，以便生命能够存在，这决不是偶然。宇宙能够存在于这样狭窄的允许生命存在的频带中，所需要的意外实在太多了。“这种我们赖以存在的看起来经过精心调试的状态有可能是个巧合，”里斯写道，“我一度这样认为过。但这种看法现在看来过于狭隘……一旦我们接受这一点，我们宇宙中看起来很特殊的一些特性，那些一度为某些神学家引证为存在神性或有目的的设计的特性，就不再令人惊奇了。”

为了支持这些横扫千军的说法，里斯量化了其中一些概念，以使自己的论点具体化。他宣称，宇宙似乎受到6个数字的支配，其中每一个都是可测度的，经过精心调节的。这6个数字必须满足生命所需要的条件，否则就创造出了一个死宇宙。

第一个数字是艾普西龙（ε。第五个希腊字母Epsilon），它等于0.007，这是氢的相对数量，在大爆炸时通过聚变转化为氦。如果这个数字是0.006而不是0.007，核作用力就会被减弱，质子和中子就不能结合在一起。氘（带有一个质子和一个中子）就不能形成，因而永远不能在恒星中创造出更重的元素，我们身体中的原子不会形成，而整个宇宙则熔解为氢。核作用力哪怕稍微减少一点，就会在元素周期表中产生不稳定，能够用于创造生命的稳定元素就会减少。

如果艾普西龙（ε）的值是0.008，则聚变的速度会快到大爆炸中剩不下一点氢，那么今天就不会有恒星为行星提供能量。或者两个质子会

结合在一起，这也使得恒星中的聚变成为不可能。里斯指出，弗雷德·霍伊尔（Fred Hoyle）发现，核作用力中哪怕小到只有4%的变动都会使恒星中不可能形成碳，使得高级元素和以其为基础的生命成为不可能。霍伊尔还发现，如果稍稍变动一下核作用力，那么铍（beryllium）就会不稳定到根本无法成为形成碳原子的“桥梁”。

第二个数字是N，它的值等于10^{36}，这个值代表电力的强度除以引力的强度，引力的强度是表示引力弱到什么程度的。如果引力再弱些，那么恒星就无法凝聚并产生出聚变需要的巨大温度。这样，恒星就不能发光，行星就陷入冰冷的黑暗。

但如果引力稍微强一些，这就会使恒星升温过快，它们的燃料在生命还没来得及出现之前就烧完了。而且，大一点的引力会使星系形成得较早，这样它们会相当小。恒星挤在一起的密度更大，使各种恒星和行星之间发生灾难性的碰撞。

第三个数字是欧米伽值（Ω），代表宇宙的相对密度。如果欧米伽的值太小，那么宇宙扩张和冷却的速度就会太快。但如果欧米伽的值太大，那么宇宙在生命起步之前就会坍塌。里斯写道：“大爆炸之后的第一秒钟，欧米伽的值与统一性（unity）的差别不会超过千万亿分之一（即$1/10^{15}$），只有这样，在100亿年之后的今天，宇宙才能仍在膨胀，欧米伽的值偏离统一性才不太离谱。”

第四个数字是拉姆达（Λ），这是宇宙常数，决定宇宙的加速度。如果它稍微大几倍，它所产生出来的反引力会把宇宙炸飞，并使它直接进入大冻结，使生命成为不可能。但如果宇宙常数是个负数，宇宙就会剧烈地收缩，进入“大坍缩”，而生命还没来得及形成。换句话说，宇宙常数和欧米伽值一样，也必须在某个窄频带范围内，这样生命才成为可能。

第五个数字是Q，代表宇宙微波背景中不均匀分布（irregularities）的振幅，等于10^{-5}。如果这个数字小一点点，那么宇宙就会极端均匀，成为死气沉沉的一团气体和尘埃，永远不会凝缩为今天的恒星和星系。宇宙会是黑暗、均匀、毫无特性、死气沉沉的。如果这个数字再大些，那么物质就会在宇宙历史中提前凝缩成巨大的超星系结构体。这些“巨大的物质团块就会凝缩成巨大的黑洞”，里斯说。这些黑洞会比整个星云团还要重。在这种巨大的气团中不论形成了什么样的恒星，它们都会紧紧地挤在一起，不可能出现行星体系。

最后一个数字是D，是宇宙维度的数量。由于对M理论发生了兴趣，物理学家们又回到了在更高或更低维度中是否可能产生生命的问题。如果空间是一维的，那么，因为这样的宇宙太小了，可能不会有生命。通常，当物理学家们试图把量子理论运用到一维宇宙时，我们发现粒子之间相互穿过对方而不发生相互作用。所以只有一个维度的宇宙可能无法支持生命，因为粒子无法“粘”到一起来形成越来越复杂的物体。

在二维空间中，我们也会有问题，因为生命形式可能会解体。想象一种生活在桌面上的二维的扁平族类，让我们称他们为“平面国人”（Flatlanders）。想象他们会如何吃东西。从嘴到屁股的那条通道会把平面国人一分为二，他就解体了。所以很难想象，平面国人怎能作为复杂的生命体存在，而不解体或分为一块一块的。

还有一项生物学上的论点，说明智慧生命不可能存在于三个维度以下。我们的大脑是由大量互相重叠的神经元构成的，由一张宽广的电力网络连接在一起。如果宇宙是一维的或二维的，那就很难建立复杂的神经网络，尤其如果要把它们一个短接在另一个之上的时候。维度太低的话，大量的复杂逻辑线路和神经元就受到了极大的局限，无法放在很小范围内。例如，我们自己的大脑有大约1000亿个神经元，差不多与银河系中恒星的数量一样多，每个神经元都与10000个其他的神经元相连接。这种复杂程度在更少的维度中是难以再现的。

在四个空间维度中，则又会出现另一个问题：行星围绕太阳的轨道就不稳定了。牛顿的平方反比定律被一种立方反比定律所取代。1917年，保罗·埃伦费斯特（Paul Ehrenfest），他是爱因斯坦的亲密同事，对在其他维度中物理学会是什么样子进行了猜测。他对所谓泊松-拉普拉斯方程（Poisson-Laplace equation）（支配行星体运动以及原子中的电荷）进行了分析，发现在有四个以上的空间维度时，轨道就不再稳定。由于原子中的电子以及行星不时会受到碰撞，这意味着原子和太阳系可能无法在更高维度中存在。换句话说，三个维度别有意义。

对于里斯来说，人择原理是多元宇宙最有力的论点之一。正像地球有适居带这一事实暗示还存在太阳系以外的行星一样，宇宙有适居带也暗示还存在着平行宇宙。里斯评论道：“如果你有大量的衣服，那么你能从中找出一套合身的来就没什么可奇怪的。如果有许多宇宙，每个宇宙受到一套不同数字的支配，那么其中就会有一套数字特别适合于生命。而我们就在那样一个宇宙中。”换句话说，我们的宇宙之所以是这个样子，是多元宇宙中许多宇宙的平均定律使然，而不是由一个宏大设计使然。

温伯格（Weinberg）似乎在这一点上同意他的看法。事实上，温伯格觉得多元宇宙这个想法从学术上来讲是讨人喜欢的。他从来不喜欢那种认为时间是在大爆炸之时突然冒出来的，在那之前不存在时间的想法。根据多元宇宙学说，有无穷的宇宙不断地被创造出来。

里斯偏爱多元宇宙学说还有另外一个离奇的原因。他发现，宇宙中含有一点点“丑陋”。例如，地球的轨道稍微有点椭圆。如果它是正圆的，那么有人就会像神学家所做过的那样，证明这是神性干预的一个副产品。但它不是，说明在狭窄的适居带中存在一定的随机性。同样，宇宙常数也并非正好为零，而是一个很小的数，这说明我们的宇宙“绝非为我们的存在而专门设置的”。所有这一切，都与我们这个宇宙是意外随机产生的说法相吻合。



宇宙的演化

由于里斯是一位天文学家而不是哲学家，所以他说，所有这些理论的底线，是它们必须是可测定的。事实上，这就是他倾向于多元宇宙学说的原因，而不喜欢与多元宇宙学说竞争的一些神秘主义理论。多元宇宙理论“实实在在处于科学的范畴之内”，因为它是可以测试的。“未来20年中，我们有可能使多元宇宙论建立在坚实的科学基础之上，或把它排除掉。”

多元宇宙思想的一个变种实际上现今就可测试。物理学家李·斯莫林（Lee Smolin）走得比里斯还要远，他设想各种宇宙在“进化”，如同达尔文进化论那样，最终会演进成像我们的宇宙一样的宇宙。例如，根据混沌膨胀理论，“子代宇宙”（daughter universes）的物理常数与母宇宙的略有不同。如果宇宙可以像一些物理学家相信的那样从黑洞中萌生，那么主宰多元宇宙的那些宇宙就应该是那些黑洞最多的宇宙。这意味着，如同在动物世界中一样，“子女”最多的宇宙最终会占到主导地位，散布它们的“信息基因”，也就是大自然的物理常数。如果这是正确的，那么我们的宇宙在过去可能已有过无穷数量的祖先，而且我们的宇宙是亿万年自然选择的副产品。换句话说，我们的宇宙是个“适者生存”的产物，也就是说，它是那些黑洞最多的宇宙的后代。

虽然宇宙间的达尔文进化是个离奇的想法，但斯莫林（Smolin）相信，只须数一数黑洞的数量就可以对此加以验证。我们的宇宙应该是最大限度地适合产生黑洞的。（然而，黑洞数量最多的宇宙是否即是像我们这个宇宙一样适合产生生命，仍有待验证。）

由于这个想法是可测试的，因此可以想出一些反例。例如，或许可以对宇宙的物理参数进行假想调整，来看看没有生命的宇宙是不是很容易产生黑洞。例如，我们或许可以证明，具有强得多的核作用力的宇宙中存在燃烧极快的恒星，创造出大量的超新星，它们很快地坍塌为黑洞。在这样的宇宙中，核作用力的值较大，意味着恒星的寿命短，所以生命无法起步。但这样一个宇宙也可能黑洞更多，这样就否定了他的想法。这个想法的优点在于，它可以被测试、复制或证伪（这是任何真正科学理论的标志）。时间会告诉我们这种理论是否能够站得住脚。

虽然任何涉及到虫洞、超弦以及更高维度的理论，都超出了我们当今的实验能力，但新的试验一直在进行着，未来的试验也在规划中，以便确认这些理论是否正确。我们正经历着一场实验科学的革命，动用了卫星、空间望远镜、引力波探测器和激光的全部威力，来对付这些问题。这些实验的丰富成果将很好地解答宇宙学中一些最深奥的问题。

第9章　寻找来自第11维度的回声

不寻常的观点应有不寻常的证据。

——卡尔·萨根（Carl Sagan）

平行宇宙、空间入口（dimensional portal）以及高维度等这些概念虽然令人叫绝，但需要有严丝合缝的证据来证明它们的存在。正如天文学家肯·克罗斯韦尔（Ken Croswell）评价的："其他的宇宙会令人陶醉！关于它们，你想说什么就可以说什么，只要天文学一天没有找到它们，就一天不能说你是错的。"以前，要对许多这类预言进行测试似乎是毫无指望的，因为我们的试验设备太原始。然而，由于计算机、激光和卫星技术的最新发展，对许多这类理论进行实验验证已经近在眼前。

对这些思想进行直接验证也可能异常困难，但间接验证是可能做到的。我们有时会忘记，天文学中的大部分验证都是间接完成的。例如，从没有人访问过太阳或恒星，但我们还是通过对这些发光体所发出的光进行分析，知道了恒星的构成成分。通过对星光的光谱进行分析，我们间接地知道，恒星主要是由氢和一些氦构成的。同样，从来没有人看到过黑洞，而且事实上，黑洞是无形的，无法直接看到。然而，我们通过寻找吸积盘（accretion disks）以及计算这些死亡恒星的质量，找到了它们存在的间接证据。

在所有这些实验中，我们寻找恒星和黑洞的"回声"，以确定它们的性质。同样，第11维度或许不是我们所能直接接触到的，但由于我们现在有了新的带有革命性的仪器，我们有可能对膨胀理论和超弦理论进行验证。



GPS与相对论

卫星技术使相对论的研究得到了革命性的发展，最简单的一个例子就是全球定位系统（GPS），24颗卫星持续围绕地球运转，发射出精确的同步脉冲，使人可以对自己在地球上所处的位置进行三角测量，准确度惊人。GPS系统已成为航行、商务乃至战争中的一个要素。所有的东西，从汽车中的电子地图到巡航导弹都要求能在五百亿分之一秒内将信号同步化，以便以15码（13.716米）以内的精确度找到地球上的物体。但是要确保这种难以置信的精确度，科学家必须做出计算，对牛顿定律稍做修正，因为根据相对论，卫星在外太空翱翔时，无线电波的频率会稍有偏移[17]。事实上，如果我们傻乎乎地省略掉根据相对论进行修正这一步，那么GPS时钟每天就会走快四十万亿分之一秒（原文40000 billions似应为40000 billionths。——译者注），整个系统就变得不可靠了。所以，相对论对于商务和军事是不可缺少的。物理学家克利福德·威尔（Clifford Will）（他曾为一位美国空军将领讲解根据爱因斯坦的相对论对GPS系统进行至关重要的修正的问题）曾经评论说：他知道，当连五角大楼的高级官员都需要了解相对论的时候，相对论的时代就到来了。



引力波探测器

迄今为止，我们对天文学所了解的几乎一切知识都是以电磁辐射的形式得到的，不论它是星光、无线电还是来自宇宙深空的微波信号。现在科学家们正在首次引入一种新的科学发现介质，这就是引力本身。“每次我们用一种新的方式看天空的时候，我们都会看到一个新的宇宙。”引力波项目的副主任、加利福尼亚理工学院的加里·桑德斯（Gary Sanders）说。

是爱因斯坦本人于1916年首次提出存在引力波。让我们回想一下前面提到过的一个例子，即，如果太阳消失了，会发生什么。我们应该还记得那个关于保龄球陷在蹦床网中的比喻。如果把保龄球突然取出，蹦床网将立刻弹回原来的状态，产生冲击波，沿蹦床网向外扩散。如果把保龄球换成太阳，那么我们会看到引力的冲击波会以一个特定的速度，即光速扩散。

虽然爱因斯坦后来为他的方程找到了一个包含了引力波的精确的解，但令他失望的是，在他的有生之年，他未能看到他的预言得到验证。引力波非常微弱，即使是恒星间的碰撞所产生的冲击波也不足以被当前所能够做的试验测量到。

目前，引力波只是被间接探测到了。有两位物理学家，罗索·赫尔斯（Russell Hulse）和小约瑟夫·泰勒（Joseph Taylor，Jr．）推测，如果对在太空中互相追逐旋转的双中子星进行分析，则随着它们的轨道慢慢衰减，每颗星都会放射出一股引力波，与搅动糖蜜时出现的波痕差不多。他们对两颗中子星缓慢盘旋彼此接近过程中的死亡螺旋进行分析。他们把研究集中在离地球16000光年的双中子星PSR1913＋16上，它们每7小时45分钟对绕一圈，在此过程中，它们向外太空发射出引力波。

运用爱因斯坦的理论，他们发现，这两颗星每公转一圈就应该互相靠近1毫米。虽然这个距离小到微乎其微，但一年时间加起来就是1码（0.9144米），这个435000英里（700045千米）的轨道会慢慢变小。他们这项开创性的工作显示，轨道恰好是按照爱因斯坦理论在引力波基础上所做的预言进行衰减的。（爱因斯坦的方程事实上预言，由于能量以引力波的形式向宇宙中辐射消耗，这些恒星最终会在2.4亿年内相互栽进对方的怀中。）由于他们的这项工作，他们获得了1993年的诺贝尔物理学奖。

我们还可以继续回溯，运用这项精确的实验，来测量广义相对论本身的精确性。在进行反向计算的过程中，我们发现，广义相对论的精确

度至少达到了99.7%。



LIGO引力波探测器

但是，要获取有关早期宇宙的可用信息，必须对引力波进行直接观察，而不是间接观察。2003年，第一台可操作的引力波探测器，LIGO（“激光干涉引力波观测站”的英文首字母缩写，Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory）终于启动了，利用引力波探究宇宙奥秘的长达10年之久的梦想得以实现。LIGO探测器的目标是探测对于地球上的望远镜来说太遥远太微弱的宇宙事件，例如黑洞或中子星之间的碰撞。

LIGO探测器有两项巨型的激光设备，一个设在华盛顿州的汉福德（Hanford），另一个设在路易斯安那州的利文斯顿（Livingston）教区。这两个设备各有两条长管子，每条长2.5英里（4千米），形成一个L形的管道。在每条管子内发射激光，在L形的接头处，两个激光束相撞，它们的光波彼此干涉。正常情况下，如果没有干扰，两个光波是同步的，彼此抵消。但是如果黑洞或中子星相撞发射出的最微弱的引力波到达了这个装置，一条管道的收缩和扩张就会与另一条不同。这种干扰足以破坏两股激光束之间精密的抵消过程，结果，两股光束不是互相抵消，而是产生出典型的波状干涉图，可用计算机详加分析。引力波越强，两股激光束之间的不匹配就越强，干涉图形也就越强。

LIGO探测器是个工程奇迹。由于空气分子会吸收激光，容纳激光的管子必须抽空至万亿分之一大气压力。每个探测器的容积为300000立方英尺（8　495立方米），也就是说，LIGO具有世界上最大的人造真空。LIGO具有这样高的灵敏度，部分地归功于镜子的设计，它们是由非常小的磁体控制的，一共有6个，每个都像蚂蚁那么大。镜子打磨得非常光滑，精准到三百亿分之一英寸（113亿分之一厘米）。“想象一下，如果地球也有那么光滑的话，那么山的平均高度不会超过1英寸（2.54厘米）。”负责监控镜子的加里林恩·比林斯利（Gari Lynn Billingsley）说。它们非常精密，移动精确到小于百万分之一米，所以LIGO探测器的镜子可能是世界上最敏锐的镜子。“多数控制系统的工程师们听说我们想做什么事情的时候，都惊讶得目瞪口呆。”LIGO探测器科学家迈克尔·朱克（Michael Zucker）说。

由于LIGO异常平衡，有时一些最意想不到的振动源发出了轻微的、多余的振动，也会使它不得安宁。例如位于路易斯安那州的那个探测器在白天就不能工作，因为伐木工人在离开现场1500英尺（457.2米）的地方伐树。（LIGO灵敏到哪怕在1英里〔1609米〕以外伐树，也会使它白天不能工作。）即使在夜间，半夜过路运输车辆的振动和早晨6点座钟支架的振动也会使它不能工作。LIGO能连续运转的时间有多长呢？

有时，甚至几英里以外海浪拍岸的轻微振动也会影响到结果。冲击北美沙滩的海浪平均每6秒钟冲刷一次海岸，由此产生的低沉咆哮声也能实实在在地被这些激光器捕捉到。实际上，由于这种声响的频率非常低，因此它可以直接穿透陆地。“它感觉起来像一阵隆隆声。”朱克（Zucker）对这种潮汐声这样评价。“在路易斯安那州的飓风季节，这是非常令人头痛的问题。”LIGO探测器还受到月球和太阳的引力拖拽地球时产生的潮汐的影响，产生几百万分之一英寸的干扰。

为了消除这些令人难以置信的轻微干扰，LIGO工程师们走了一个极端，把该装置的大部分都与地球其他部分隔绝起来。每个激光系统都架在4个巨型的不锈钢平台之上，一个平台摞在另一个之上，每层之间以弹簧分隔以消除任何振动。所有精密的光学设备都有自己的地震绝缘系统；地板是一块30英尺（10.44米）厚的混凝土，不与墙壁接合。

LIGO探测器事实上是国际联合努力的一部分，其中包括名叫VIRGO的法国意大利探测器，位于比萨；名叫TAMA的日本探测器，位于东京郊外；以及一个名叫GEO600的英国德国探测器，位于德国汉诺威。LIGO的最终造价加起来将达到2.92亿美元（再加上8000万美元的调试和升级费用），这使其成为美国国家科学基金会有史以来所出资的最昂贵的项目。

但即使灵敏到了这种程度，许多科学家承认，LIGO可能仍然不够灵敏，无法在其寿命期限内探测到真正令人感兴趣的事件。对该设施的下一次升级，也就是LIGOII探测器，如果资金被批准了的话，计划将于2007年进行。如果LIGO探测不到引力波，人们打赌LIGOII将能探测到。LIGO科学家肯尼思·利布雷希特（Kenneth Libbrecht）声称：LIGOII将使该设备的灵敏度翻1000番，“从每10年（探测到）一次，这是相当痛苦的，到每3天探测到一次，非常惬意。”

要让LIGO探测到两个黑洞的碰撞（距离3亿光年以内），科学家要等上1年到1000年之久。如果说，用LIGO来探测这样一个事件，意味着要由天文学家的重重重……重孙的子女才能等得到，那么许多天文学家可能就要对此重新考虑了。但正如LIGO科学家彼得·索尔森（Peter Saulson）说的：“人们从解决这类技术挑战中获得乐趣，这很像中世纪的教堂建筑师们，明知自己可能看不到建成后的教堂，但还是继续工作。但如果说在我的有生之年无论如何努力也不可能看到引力波，那我可能就不会钻研这个领域了。这不只是在追逐诺贝尔奖……我们为之奋斗的这种精准水平，是我们这项工作的特点；只有这样才算走对了路子。”有了LIGOII，一个人的有生之年发现真正有趣的事件的可能性就大大提高了。LIGOII有可能以每天10次到每年10次的速率，在60亿光年这一大得多的范围内探测到黑洞碰撞。

然而，即使是LIGOII探测器的威力也不足以探测到宇宙形成那一瞬间发射出的引力波。要达到这个目的，我们必须再等15～20年，等到LISA探测器问世。



LISA引力波探测器

LISA（激光干涉太空天线，Laser Interferometry Space Antenna）将是下一代的引力波探测器。与LIGO探测器不同的是，它将被设在外太空。2010年前后，NASA（美国国家航空航天局）和欧洲航天局（European Space Agency）计划向太空发射3颗卫星，它们将在离地球大约3000万英里（5080.32万千米）的轨道上围绕太阳转。这3颗卫星的激光探测器将在太空中形成等边三角形（每边500万千米）。每颗卫星将有两个激光器，使之与另外两颗卫星保持联络。虽然每个激光器只用半瓦能量发射激光束，但其光学灵敏度非常高，能够以十亿万亿分之一（one part in a billion trillion）的精确度探测到来自引力波的振动（相当于移动了单个原子百分之一的宽度）。LISA应能够探测到90亿光年处传来的引力波，穿越了大部分的可见宇宙。

LISA探测器的精确度将能够探测到大爆炸本身发出的原始冲击波。这将给我们提供宇宙形成一刹那时远为最精确的样貌。如果一切都能按计划进行[18]，LISA应能窥探到大爆炸之后第一个万亿分之一秒时的情形，这或许就使其成为宇宙学中最强大的工具。人们相信，LISA可能将会找到统一场理论，即包罗万象的理论的确切性质的第一手实验数据。

LISA探测器的一个重要目的，就是要提供膨胀理论的确凿证据。迄今为止，膨胀学说与所有的宇宙数据都吻合（例如平坦度、宇宙背景的涨落等）。但这并不意味着这个理论就是正确的。为了给这项理论做定论，科学家想要研究由膨胀过程本身所产生出来的引力波。大爆炸一刹那间产生的引力波如同指纹一样，将能够显示出膨胀学说和任何其他待选理论之间的区别。有些人，例如加利福尼亚理工学院的基普·索恩（Kip Thorne）相信LISA还可能显示某些版本的弦理论是否正确。如我在第7章中解释过的，宇宙膨胀理论预言：从大爆炸中产生的引力波应该相当猛烈，与宇宙早期迅猛的膨胀相符；而火劫宇宙模型（ekpyrotic model）则预言：膨胀过程要温和得多，引力波也平缓得多。LISA应能排除各种有关大爆炸的待选理论，对弦理论做出至关重要的测试。



爱因斯坦透镜和爱因斯坦环

在探测宇宙方面的另一个强大的工具是使用引力透镜和“爱因斯坦环”。早在1801年，柏林天文学家约翰·乔治·冯·佐尔德纳（Johan Georg von Soldner）就已经能够计算出，太阳的引力可能使恒星的光发生偏转。（尽管由于佐尔德纳严格采用了牛顿学说，他少了一个关键的因数2。爱因斯坦写道：“这种偏转一半是由于太阳的牛顿引力场造成的，另一半是由太阳对空间的几何修正〔‘曲率’〕造成的。”）

1912年，就在他完成广义相对论之前，爱因斯坦还考虑过是否可以把这种偏转当做一个“透镜”，就像你的眼镜在光线到达你的眼睛之前使它发生偏转一样。1936年，一位捷克工程师鲁迪·曼德尔（Rudi Mandl）写信给爱因斯坦，问他引力透镜是否可以把来自附近恒星的光线放大。回答是可以，但是由于他们的技术所限，还不能探测到。

爱因斯坦还特别意识到，你可能会看到光学错觉，例如同一个客体的双影，或一个因光线畸变而形成的光环。例如，当从非常遥远的星系发出的光经过我们的太阳时，光束会先从太阳的左右两侧经过，再合拢来达到我们的眼睛。当我们盯住遥远星系看的时候，我们看到的会像一个光环，这是由广义相对论造成的光学错觉。爱因斯坦的结论是：“直接观察到这一现象的希望不大。”事实上，他写道：这项工作“没什么价值，只是能让可怜人（曼德尔）有点成就感”。

40多年以后，在1979年，英格兰乔德雷尔班克（Jodrell Bank）天文台的丹尼斯·沃尔什（Dennis Walsh）首次发现了透镜作用的局部证据，他是双类星体Q 0957＋561的发现者。1988年，从射电源MG1131＋0456观测到第一个爱因斯坦环。1997年，哈勃空间望远镜和英国的MERLIN射电天文望远镜阵通过对遥远星系1938＋666进行分析，捕捉到了第一个完整圆形的爱因斯坦环，再一次证实了爱因斯坦的理论。（这个环非常小，只有1弧秒〔1″≈〈1/3600〉°〕，或大致相当于从两英里〔3.22千米〕以外看一枚一便士硬币的大小。）目睹了这一历史性事件的天文学家们这样描述他们的兴奋心情：“第一眼看去，它像是人为造成的，我们还以为它是图像中的某种缺陷，但后来我们意识到，我们看到的正是一个完善的爱因斯坦环！”曼彻斯特大学的伊恩·布朗（Ian Brown）博士说。

今天，爱因斯坦环已成为天体物理学家手中一件必不可缺的武器。在外太空中已经发现了约64个双类星体、三类星体以及多类星体（爱因斯坦透镜作用造成的幻象），或者说，每500颗观察到的类星体中就有一颗。

甚至不可见形式的物质，如暗物质，也可以通过分析它们所造成的光波畸变而“看到”。用这种方法，人们可以凑成一些显示宇宙中暗物质分布情况的“地图”。由于爱因斯坦透镜作用会扭曲星系团，造成大的弧形（而不是环形），这就有可能对这些星系团中暗物质的分布情况进行估计。1986年，美国国家光学天文台（National Optical Astronomy Observatory）、斯坦福大学以及法国南比利牛斯天文台（Midi-Pyrenees Observatory）发现了首批巨大的星系弧（galactic arcs）。从那以后，已经发现了大约100个星系弧，其中最令人惊叹的是在Abell 2218（埃布尔2218）星系团中。

爱因斯坦透镜还可以被当做一种独立的方法，对宇宙中MACHOs（大质量致密晕轮天体，包括死恒星、黄矮星和尘埃云）的数量进行测量。1986年，普林斯顿大学的博赫丹·帕钦斯基（Bohdan Paczynski）意识到，如果MACHOs在恒星面前经过的话，它会放大它的亮度，造成第二个图像。

20世纪90年代初期，几支科学家队伍（如法国的EROS，美国-澳大利亚的MACHO，以及波兰-美国的OGLE）把这一方法应用到银河系的中心，并发现了500多个微透镜现象（比预料的要多，因为其中有些物质是由低质量恒星构成的，而不是真正的大质量致密晕轮天体[MACHOs]）。这种方法还可以用来寻找围绕其他恒星转的太阳系以外的行星。由于行星可以对其母恒星的光产生微弱但观察得到的引力作用，所以原则上爱因斯坦透镜作用是可以探测到它们的。用这一方法已经找到几个太阳系以外的行星候选对象，其中有些位于靠近银河系中心的地方。

利用爱因斯坦透镜甚至可以测量到哈勃常数和宇宙常数。哈勃常数可以通过做一项微妙的观察测得。类星体会随着时间而忽明忽暗；由于双类星体是同一个对象的两个影像，我们可以预料它会以同样的速率摆动。实际上，这些双类星体摆动的步调并不十分统一。利用对物质分布的已有了解，天文学家可以计算时间延迟与光线达到地球的全部时间之比。通过测出双类星体亮起来的时间延迟，就可以进而计算出它离开地球的距离。知道了它的红移，就可以计算出哈勃常数。（这个方法被应用到了双类星体Q0957＋561，发现它离地球大约有140亿光年。自那以后，又对另外7颗类星体进行了分析，用以计算哈勃常数。在误差范围之内，这些计算都与已知结果相符。有意思的是，这种方法完全不依赖于恒星的亮度，像造父变星和Ia型超新星，从而成为对结果进行单独核对的方法。）

宇宙常数可能掌握着通往我们这一宇宙未来的钥匙，它也可以用这种方法测得。计算方法有些粗糙，但也还是与其他一些方法相吻合的。由于宇宙的总体积在10亿年前要小一些，在过去找到能够形成爱因斯坦透镜的类星体的可能性也更大些。因此，测定宇宙演进过程中各个不同时期双类星体的数量，就可以大体计算出宇宙的总体积，由此而得出在推进宇宙膨胀方面起作用的宇宙常数。1998年，哈佛大学史密森天文中

心（Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics）的天文学家对宇宙常数做了第一次粗略估算，并得出结论，它可能构成了不超过宇宙全部物质/能量含量的62%。（实际的WMAP卫星结果为73%。）



客厅中的暗物质

暗物质如果的确遍布宇宙的话，就不会只存在于冰冷的宇宙真空中。事实上，它应该也能在你的客厅中找到。今天，若干科研队伍正在竞相角逐，看谁能第一个在实验室中捕获第一个暗物质粒子。人们下的赌注很高，哪支队伍如果能够捕捉到一个在他们的探测器中一闪而过的暗物质粒子，就将成为在2000年内第一个探测到新物质形式的人。

这些实验的中心想法，是制造出一大团、暗物质粒子可以在其中相互作用的纯物质（例如，碘化钠、氧化铝、氟利昂、锗、硅等）。一个暗物质粒子或许偶尔会与原子核相撞，由此产生出一种特有的衰变图形。通过把这一衰变过程中粒子的轨迹拍照，科学家就可以确认暗物质的存在。

实验者们都持谨慎的乐观态度，因为他们的设备非常灵敏，迄今为止最有可能使他们观察到暗物质。我们的太阳系以每秒220千米的速度围绕着银河系中心的黑洞旋转。因此，我们的行星正穿越相当多的暗物质。物理学家们估计，我们这个世界中的每平方米中，包括我们的身体，每秒钟都有10亿个暗物质粒子穿过。

虽然我们生活在席卷我们这个太阳系的“暗物质风”中，但在实验室中做寻找暗物质的实验一直异常困难，因为暗物质粒子与普通物质的相互作用非常弱。例如，科学家估计，在实验室中，从每克物质中找到这种现象的几率每年在0.01次到10次之间。换句话说，你需要花上好多年的时间仔细观察大量的这种材料，才可能发现一些含有暗物质碰撞的现象。

迄今为止，一些以首字母为代号的实验项目，如英国的UKDMC、西班牙坎弗兰克（Canfranc）的ROSEBUD、法国吕斯特尔（Rustrel）的SIMPLE，法国弗雷瑞斯（Frejus）的EDELWEISS，都还没有发现任何这类现象。1999年罗马郊外的一项称为DAMA（暗物质）的实验引起了一阵轰动，有报道说那里的科学家看到了暗物质粒子。由于DAMA使用了100千克的碘化钠，所以它是世界上最大的探测器。但是，当其他探测器试图再现DAMA的结果时，它们什么也没有找到，这就给DAMA实验的发现打上了问号。

物理学家大卫·B．克莱因（David B．Cline）评论道：“如果这些探测器确实找到并验证了这样一个信号，那它将成为21世纪最伟大的成就之一而载入史册……现代天文学中的最大奥秘可能不久就将揭晓。”

如果暗物质能像许多物理学家希望的那样很快找到，那么也可能不需要使用原子击破器就能为超对称学说提供支持（甚至随着时间推移，可能支持超弦理论）。



超对称（SUSY）暗物质

对超对称学说所预言的粒子稍加留意就可以看出，有几种可能的候选对象可以解释暗物质。其中一个是“中性子（neutralino）”，粒子中的一个族系，其中包含质子的超对称伙伴。从理论上来看，中性子似乎与数据相吻合。它不仅在负荷方面是中性的，因而是不可见的，也不仅是有质量的（因此会受引力影响），而且它还是稳定的。（这是因为它在这一族系的所有粒子当中质量最轻，因而不能衰变为任何更低的状态。）最后，也可能是最重要的一点，宇宙中应该充满了中性子，这就可能使它们成为暗物质的最理想候选对象。

中性子有一大优势：它们可能解答为什么暗物质构成宇宙中物质/能量成分的23%，而氢和氦仅占到微不足道的4%这个奥秘。

我们知道，当宇宙还是380000岁时，大爆炸的极高温度下降到原子不再互相碰撞而破裂。那时，这个膨胀中的火球开始冷却，凝缩，形成稳定完整的原子。今天的大量原子大致起源于那一时期。我们所了解到的情况是，宇宙中的大量物质起源于宇宙冷却到足以使物质稳定下来的那个时期。

这一学说也同样可以应用于计算中性子的数量。大爆炸之后不久，温度高到连中性子都因碰撞而破坏。但随着宇宙冷却，在一定的时候，温度降低到连中性子都可以形成而不被破坏。大量的中性子就起源于这个早期时代。当我们进行这项计算的时候，我们发现，中性子的数量远高于原子，事实上它大致对应于今天暗物质的实际数量。由于这个原因，我们可以用超对称粒子（supersymmetric particles）来解释，为什么宇宙中各处都充斥着压倒多数的暗物质。



斯隆巡天观测

虽然在21世纪，装备方面的进步大部分都将与人造卫星有关，但这并不意味着，以地球为基地的光学望远镜和射电天文望远镜研究被搁在了一边。事实上，由于数字革命的冲击，光学望远镜和射电天文望远镜的用法改变了，对数以几十万计的星系进行统计分析成为了可能。望远镜技术由于出现了这项新技术而迸发了生命的第二春。

在历史上，天文学家们需要经过奋争才能获得允许，在有限的时间内使用世界上最大的望远镜。他们十分珍惜能够使用这些仪器的宝贵机会，争分夺秒，在冰冷潮湿的房间里通宵达旦地工作。这种陈旧的观测方式效率非常低，在觉得自己被独揽天文望远镜使用时间的“神职人员”冷落了的天文学家们之间经常激起痛苦的争斗。随着因特网和高速计算技术的出现，所有这一切都改变了。

今天，许多望远镜都已完全自动化，并且可以由远在不同大陆上的天文学家们从几千英里以外编程控制。这些巨量的恒星观测结果可以被数字化，然后放到因特网上，由强大的超级计算机对数据进行分析。

“在家搜寻地外文明（SETI@home）”就是这种数字化方式的一个例子。这是一个以加利福尼亚大学伯克利分校为基地的项目，用于信号分析，寻找外星智慧。位于波多黎各的阿雷西博（Aricebo）射电天文望远镜收集到的海量数据，被分割为很小的数据段，通过因特网发送到全球各地的个人电脑，主要都是业余爱好者。个人电脑不用的时候，有一个屏保软件程序会对数据进行分析。利用这种方法，研究组建立了世界上最大的计算机网络，连接着分布在全球各点的大约500万台个人电脑。

当今对宇宙进行数字化探索的一个最突出的例子，是斯隆巡天观测（Sloan Sky Survey），这是有史以来对夜晚天空所进行过的最为雄心勃勃的观测。以前的帕洛玛巡天观测（Palomar Sky Survey）使用的是老式的照相底片，体积庞大，而斯隆巡天观测将建立起一个天空中精确的天体图。这项观测计划已经建立起一个遥远星系的三维图像，用5种颜色显示，包括100多万个星系的红移现象。斯隆巡天观测产生了一幅宇宙的大比例结构图，比所有以前做过的都要大几百倍。它将为整个天空的四分之一绘制出详尽的天文图，确定1亿个天体的位置和亮度。它还将测定100多万个星系和大约10万个类星体的距离。该项观测所产生的信息将达到15兆兆位字节（15 terabytes），可与美国国会图书馆所储存的信息量媲美。

斯隆观测的核心是一台设在新墨西哥州的直径2.5米的天文望远镜，

它装备着有史以来最先进的照相机。它有30个叫做CCD（电荷耦合元件charge-coupled devices）的高度灵敏的电子感光器，每个有2英寸见方（12.9平方厘米），密封在真空中。每个感光器都用液氮冷却至-80℃，有400万像素。因此，由望远镜所采集到的光可以当即被CCD转换为数字，然后直接输入计算机进行处理。该项观测所绘制出的宇宙图令人惊叹，其成本不到2000万美元，仅为哈勃空间望远镜的百分之一。

该观测项目然后把这种数字化数据的一部分放到因特网上，供全世界的天文学家潜心研究。用这种方法，我们还可以挖掘全世界科学家的智慧潜能。在过去，第三世界的科学家不能获得最新的望远镜数据及刊物，这成了家常便饭。这是对科技人才的巨大浪费。现在，由于有了因特网，他们可以下载巡天观测的数据，有关文章一经在因特网上登出就可以读到，并且以光速在网上发表文章。

斯隆观测正在改变天文学研究的方式，通过对几十万个星系进行分析得出了新的结论，这在仅仅几年以前都是难以想象的。例如，2003年5月，一群西班牙、德国和美国科学家宣布，他们为寻找暗物质的证据，对25万个星系进行了分析。在这一庞大的数量之中，他们把研究焦点集中在有星团围绕其旋转的3000个星系。通过运用牛顿运动定律对这些卫星的运动进行分析，他们对中央星系（central galaxy）外围应该有多少暗物质进行了计算。目前，这些科学家已经排除了一项待选理论。（这项待选理论是1983年首次提出的，它试图通过对牛顿定律本身做修正，从而解释星系中恒星的反常轨道〔anomalous orbits〕。也许根本就没有暗物质，这只是由于牛顿定律的内部错误造成的误解。但观察数据对这项理论提出了疑问。）

2003年7月，另一组德国和美国科学家宣布，他们利用斯隆观测对12万个附近的星系进行了分析，以便解开星系与它们内部的黑洞之间的关系之谜。所提出的问题是：这二者之中哪个出现在先，是黑洞还是含有黑洞的星系？这项调查的结果显示：星系和黑洞的信息数据密不可分，它们有可能是一起形成的。他们证实，在通过该项观测分析的12万个星系中，足足有2万个含有仍在长大的黑洞（这与银河系中的黑洞不同，银河系中的黑洞似乎是静止不动的）。他们的结论显示，含有正在长大的黑洞的星系尺度要比银河系大得多，它们吞噬下星系中相对较冷的气体，从而长大。



补偿热涨落

还有一项使光学望远镜获得新生的方法，是用激光对由大气造成的失真进行补偿。恒星并不因为它们有振动而闪烁；恒星的闪烁主要是因为大气层中有微弱的热涨落。这意味着，在远离大气层的外太空，恒星会一眼不眨地瞪着我们的宇航员。虽然美丽的夜空主要是由这种闪烁造成的，但对天文学家来说它却像噩梦般挥之不去，使天体的图像模糊不清。（我记得在孩提时代看着火星的模糊图片发愣，希望能有什么办法得到这颗红色行星的水晶般清澈的图像。我想，只要能重新安排光束，把大气干扰消除，可能就可以解决外星生命之谜了。）

解决这个问题的办法之一，就是利用激光和高速计算机，把这种失真现象去除。这种方法运用了“自适应光学”（adaptive optics），它是由劳伦斯利弗莫尔国家实验室（Lawrence Livermore National Laboratory）的克莱尔·马克斯（Claire Max）博士等人首创的，他是我在哈佛大学的同班同学，使用了设在夏威夷的巨型的W．M．凯克（W．M．Keck）天文望远镜（世界上最大的望远镜），以及一个小一点的设在加利福尼亚里克天文台的直径3米的谢恩（Shane）望远镜。举例来说，把一束激光射入外太空，我们可以测定大气中的微弱温度涨落。这一信息由计算机分析之后，对望远镜的镜子进行细微的调整，对星光的失真现象进行补偿。这样就可以大致消除掉大气造成的失真现象。

1996年对这一方法进行了成功的测试，从那以后，我们就得到了如水晶般清澈的行星、恒星和星系的图像。这个系统用一个使用18瓦电力的可调谐染色激光器向空中发射光束。该激光器装在直径3米的天文望远镜上，它的可变形反射镜可以调节，对大气造成的失真现象进行修正。所得到的图像本身被CCD照相机捕捉并数字化。以一笔低廉的预算，该系统所得到的图像几乎可以与哈勃空间望远镜相比。用这种方法，我们可以看到外太空行星精细入微的细节，甚至可以窥探到类星体的核心，为光学望远镜注入了新生命。

这一方法还使凯克望远镜的分辨率提高了一个10的系数。凯克天文台坐落于夏威夷死火山冒纳凯阿（Mauna Kea）之巅，海拔将近14000英尺（4267米），有两台各270吨重的姊妹望远镜。每个反射镜直径10米（394英寸），由36个六边形镜面组成，每个都可以通过计算机单独操控。1999年，凯克II望远镜装上了一个自适应光学系统，由一个可以每秒钟670次改变形状的小型可变形反射镜构成。这一装置已经捕捉到了围绕着我们这一银河系中心处的黑洞旋转的恒星图像，以及海王星和泰坦（土星的一颗卫星，土卫六）的图像，甚至一颗太阳系以外的行

星，它在离开地球153光年的地方遮挡其母恒星。当这颗行星从恒星HD209458面前经过时，光线正如预言的那样变暗，分毫不差。



将射电天文望远镜绑在一起

计算机革命同样也焕发了射电天文望远镜的生命。过去，射电天文望远镜受到它们碟形天线尺寸的限制。碟形天线越大，从太空中收集到可供分析的无线电信号就越多。然而，天线越大，它就越昂贵。解决这一问题的一种方法就是把若干碟形天线绑在一起，来模仿超级射电天文望远镜的无线电收集能力。（地球上可以绑在一起形成的最大的射电望远镜，就是地球本身那么大。）过去德国、意大利和美国在捆绑射电天文望远镜方面所做过的一些努力局部证明是成功的。

这种方法的一个问题是，需要把所有这些射电天文望远镜收集到的信号精确地组合起来，然后再输入计算机。过去，这项工作极其困难。然而随着因特网以及廉价的高速计算机的出现，成本大大降低了。在今天，建立起有效规模像地球本身一样大的射电天文望远镜已不再是幻想。

在美国，采用这项干涉技术（interference technology）的最先进的装置是VLBA（甚长基线阵列，very long baseline array），这是一组有10个射电天线，设置在不同地点，包括新墨西哥、亚利桑那、新罕布什尔、华盛顿、得克萨斯、维尔京群岛和夏威夷。每个VLBA站都有一个巨型的82英尺（25米）直径的碟形天线，重240吨，像一座10英尺（3.048米）高的建筑那样耸立着。每个站点都把无线电信号小心地录在磁带上，然后送到新墨西哥州的索科罗运行中心（Socorro Operations Center）进行拼接和分析。这一系统耗资8500万美元，1993年投入使用。

把这10个站点的数据拼接起来以后，就形成了一个实际长达5000英里（8047千米）的巨型射电天文望远镜，可以产生出地球上可以得到的最清晰的图像。这相当于站在纽约城去读一张位于洛杉矶的报纸。目前，VLBA阵列已经制作出宇宙喷流和超新星爆发的“电影”，以及对银河系以外的一个天体的距离做了迄今为止最精确的测量。

在将来，甚至光学望远镜也将能够利用干涉测量法的威力，尽管由于光的波长很短，这项工作的难度相当大。有一项计划是把夏威夷凯克天文台的两台望远镜的光学数据放在一起进行干涉，由此实际造成一个比这两者之中哪个都要大得多的巨型望远镜。



对第11个维度进行测量

除了探索暗物质和黑洞，对于物理学家来说，最具诱惑力的是探寻高维度空间时间。在试图验证是否存在一个附近的宇宙方面，位于丹佛的科罗拉多大学做了一项更为大胆的尝试。那里的科学家试图测量出对牛顿那著名的平方反比定律的偏差。

根据牛顿的引力理论，任何两个物体之间的引力随着两者之间的距离的平方而减弱。如果你把地球到太阳的距离加长1倍，则引力就会降低2的平方倍，也就是4倍。这反过来又用于测量空间的维度。

迄今为止，牛顿的引力定律在包括大型星系团在内的宇宙距离上都是适用的。但还没有人把他的引力定律在微小尺度上进行充分测试，因为在过去要做这项工作是极其困难的。因为引力是一种非常弱的作用力，即使是最轻微的干扰也会把实验破坏。即使过路卡车的振动也足以使测量两个小型物体之间的引力的实验作废。

科罗拉多大学的物理学家们制造了一个精巧的仪器，叫做高频共振器（high-frequency resonator），它所能测试的引力定律的最小距离可达十分之一毫米，这是有史以来第一次在如此微小的距离上做这项实验。这项实验有两根悬在真空中的极细的钨簧片。其中一个簧片以每秒1000个周期的频率振动，看起来像一个振动着的跳水台板。物理学家然后观察有什么振动会穿越真空传达到第二个簧片。这个装置极其灵敏，即使是一粒沙子的十亿分之一重的力量引起了第二个簧片的动作也会被探测到。如果牛顿的引力定律中有了偏差，那么第二个簧片中就会记录到轻微的干扰。然而，在逐次分析到1.08亿分之一米的距离上以后，物理学家们仍没有找到这种偏差。“到目前为止，牛顿的学说经受住了考验。”意大利特伦托（Trento）大学的C．D．霍伊尔（C．D．Hoyle）说，他在《自然》杂志上对这个实验发表了分析文章。

这是个否定的结论，然而这却更加吊起了其他物理学家的胃口，使他们想在微观层面上测试有没有偏离牛顿理论的现象。

普渡大学（Purdue University）正在计划另一项试验。那里的物理学家不是要在毫米级对牛顿引力的微小偏离进行测试，而是要在原子层面上进行测试。他们计划运用纳米技术，对镍-58和镍-64之间的差别进行测量。这两种同位素的电气及化学特性相同，但其中一个同位素比另一个多了6个中子。从原则上来说，这两种同位素之间的唯一差别就是它们的重量。

这些科学家设想建立一个卡西米尔装置（Casimird　evice），它有两套用这两种同位素制作的中子板。正常情况下，当这两块板紧靠在一起时什么也不会发生，因为它们没有负荷。但如果使它们相互非常靠近，就会发生卡西米尔效应，两块板会轻微地互相吸引，这是一种已在实验室中测量到的效应。但由于这两套平行放置的板子是由不同的镍同位素制造的，依据它们的引力不同，它们之间的吸引会有轻微的不同。

为使卡西米尔效应最大化，这些板子须放置得极端靠近。（这种效应与它们之间隔开的距离的负四次方成正比。所以，当把这些板子靠近时，这种效应就迅速提高。）普渡大学的物理学家将采用纳米技术，制造由原子距离间隔开的板子。他们将使用最先进的“微电动机械扭矩振荡器”（microelectromechanical torsion oscillators）来测量板子中的微弱振荡。镍-58和镍-64之间的任何差异都可以归咎于引力。这样，他们希望能在原子距离上测量到对牛顿运动定律发生的偏差。如果他们用这一创意精巧的装置找到了对牛顿著名的平方反比定律的偏离，这将是一个信号，说明存在着一个更高维度的宇宙，与我们的宇宙相隔着一个原子的距离。



大型强子对撞机

但是，有可能对许多这类问题做出决定性解答的装置是LHC（大型强子对撞机），它设在瑞士著名的CERN核实验室（European Organization for Nuclear Research，欧洲粒子物理研究所，世界最大的粒子物理研究中心），在日内瓦郊区，现在已经接近完工。与以前那些针对我们这个世界中自然出现的奇异形式的物质所进行的实验不同，LHC可能会有足够强大的能量，直接在实验室中把它们创造出来。LHC将能够对小到10^{-19}米的微小距离进行探测，也就是说，只有质子的一万分之一，并制造出自大爆炸以来所没有见到过的温度。“物理学家们相信，大自然隐藏着新的秘密，只有通过那些碰撞才能揭示出来，这也可能是一种被称为希格斯玻色子（Higgs boson）的奇异粒子，也可能是证明存在一种叫做超对称性的奇妙效应的证据，或者也可能是某种令人意想不到的东西，把理论粒子物理学翻个底朝天。”前欧洲粒子物理研究所（CERN）理事长，如今的伦敦大学学院院长克里斯·卢埃林·史密斯（Chris Llewellyn Smith）这样写道。日内瓦的CERN目前已有7000人在使用其设备，这已超过了全球所有实验粒子物理学家人数的一半以上。而且其中有许多人将直接参与到LHC实验中去。

大型强子对撞机（LHC）是一台强大的圆形机器，直径27千米，世界上有许多城市都可以被它整个围起来。它的管道之长，实际上是骑跨在法国瑞士边界上的。LHC非常昂贵，要由几个欧洲国家合力建造。2007年当它最终投入运转时，圆形管道中安置的强大磁力将迫使一束质子以越来越高的能量循环，直至达到14万亿电子伏特的能量。

这台机器有一个巨大的环形真空舱室，在沿线精心计算过的位置上安置着巨大的磁体，将强大的粒子束（beam）运转成一个圆圈。当粒子束在管道内循环时，能量将被注入到舱室中，使质子加速。当粒子束最终打到目标上的时候，它会爆发出巨大的辐射。通过这种撞击产生的碎块被成组的探测器拍照，寻找存在新的、奇异的亚原子粒子的证据。

大型强子对撞机（LHC）实实在在是一个庞然大物。如果说LIGO和LISA引力波探测器是扩展了灵敏度的极限，那么LHC则是把纯粹的蛮力推到了极限。它的强大的磁体把质子束弯成一个优雅的弧，产生出一个8.3特斯拉（Teslas）的磁场，比地球的磁场高16万倍。为了产生这一大得吓人的磁场，物理学家要通过一系列线圈输入12000安培的电流，并要把这些线圈冷却至-271摄氏度，使线圈失去一切电阻，成为超导体。它一共有1232个15米长的磁体，沿着这台机器85%的周长安放。

在管道中，质子被加速到光速的99.999999%，直到它们撞上在沿

管道设置的4个位置上的目标，从而制造出每秒几十亿次的撞击。这些地方安置着巨型的探测器（最大的有6层楼那么大），对碎块进行分析，并捕捉一纵即逝的亚原子粒子。

如前面史密斯提到过的那样，LHC的目标之一就是要找到一纵即逝的“希格斯玻色子”，这是标准模型中迄今仍未被捕获到的最后一种粒子。这项工作之所以重要，是因为这一粒子导致粒子理论中的自发对称性破缺（spontaneous symmetry breaking），并使量子世界有了质量。希格斯玻色子的质量，估计在1150亿至2000亿电子伏特之间（相比之下，质子的重量大约为10亿电子伏特）。（1万亿电子伏加速器〔Tevatron〕是芝加哥城外费米实验室〔Fermilab〕的一座小得多的机器，其实有可能成为第一个捕捉到飘忽不定的希格斯玻色子的加速器，只要这种粒子的质量不太重。1万亿电子伏加速器（Tevatron）如果能按计划运行的话，原则上有可能产生多达10000个希格斯玻色子。而LHC产生粒子所需要的能量要高7倍。有了14万亿电子伏可玩，LHC可以想见会变成一个希格斯玻色子的“制造工厂”，通过它的质子碰撞制造出几百万个这种粒子。）

大型强子对撞机（LHC）的另一个目标，是创造出自大爆炸以来未曾有过的一些条件。尤其是，物理学家们相信，大爆炸本来由一些极端高温的夸克和胶子集合而成，称做“夸克-胶子等离子体”。LHC将能够产生出这种夸克-胶子等离子体，它在宇宙产生后的头10微秒中充斥着宇宙。在LHC中，我们可以用1.1万亿电子伏特的能量使铅的核子对撞。在这种强大的对撞之下，可以把这400个质子和中子“熔化”，把夸克释放到这种高温等离子体中去。这样，宇宙学可能逐步从某种程度上变为不再仅仅是一种观察科学，而更多地是一种实验科学，直接在实验室中就可以对夸克-胶子等离子体做精确的实验了。

LHC还有希望像第7章所说的那样，通过极高的能量把质子撞在一起，从产生的碎片中找到微型黑洞。一般情况下，黑洞要在普朗克能量下才能产生，这种能量超过LHC的百万之四次方倍（10^{24}倍）。但如果有平行宇宙存在于距离我们的宇宙1毫米之内，这就会降低所需要的能量，使得量子引力效应具备可测性，使微型黑洞成为LHC力所能及的。

最后，还有一种希望，LHC可能能够找到超对称性的证据，这将成为粒子物理学中的一项历史性突破。这些超粒子（sparticles）据信是我们在大自然中所能看到的普通粒子的伴子（partners）。虽然弦理论和超对称性学说预言，每个亚原子粒子都有一个自旋值不同的“孪生对”，但在自然界中还从来没有观察到超对称性，也许是因为我们的机器还没有强大到足以探测到它。

超对称粒子的存在可以帮助回答两个一直纠缠着我们的问题：

第一，弦理论是否正确？虽然要直接探测到弦非常困难，但要探测到弦理论的低八度音阶或共鸣则是有可能的。如果发现了超对称粒子，

那么就在从实验上证实弦理论方面取得了长足的进展（虽然这还不能直接证明其正确性）。

第二，有可能由此产生出最解释得通的待定暗物质。如果暗物质是由亚原子粒子构成的，那么它们必须稳定，有中性负荷（否则就能看到它们了），并且必须在引力上互相作用。弦理论所预言的超对称粒子中能够找到所有这三种特性。

LHC作为最强有力的粒子加速器，一旦最终投入运行，对于多数物理学家来说实际是个第二选择。早在20世纪80年代，罗纳德·里根总统就批准了超导超级对撞机（SSC），这是一个周长50英里（80.48千米）的巨无霸机器，本来要建在得克萨斯的达拉斯郊外，会使LHC相形见绌。相比LHC以14万亿电子伏特的能量产生粒子碰撞，SSC（超导超级对撞机）的设计是以40万亿电子伏特产生对撞。这个项目最初获得了批准，但在最后几天的听证会中，美国国会猝然取消了这个项目。这对高能物理学是个巨大打击，使这个领域的工作整整倒退了一代人。

辩论主要围绕着这台机器的110亿美元造价和科学中更重大的优先课题进行。科学界本身就对超导超级对撞机（SSC）存在着严重分歧，一些不同领域中的物理学家宣称，SSC可能会把他们自己的研究经费抽走。争议激烈到连《纽约时报》都发表了评论性社论：说“大科学”有可能扼杀“小科学”。（这些论点有误导作用，因为SSC的预算与小科学的预算在来源上是不同的。真正在争夺资金的是空间站，许多科学家觉得这才是真正浪费金钱。）

但是，回想起来，这次争议也涉及到应该学会用公众能够理解的语言讲话的问题。从某种意义上，物理学界已经习惯于请国会来批准原子击破器这种庞然大物，因为俄罗斯人也在建造它们。事实上，俄罗斯人当时在建造他们的UNK加速器，来与超导超级对撞机（SSC）竞赛。这事关国家地位及荣誉。但苏联解体了，他们的机器被取消了，SSC项目能借助的东风也渐渐失势。[19]



桌面加速器

出现了LHC，物理学家逐渐接近了当今一代加速器可达到的能量的上限，它使许多现代城市都相形见绌，并且要耗费几百亿美元。它们巨大到了只有由几个国家组成财团才能造得起。如果想推倒这种常规加速器所面临的障碍，就需要找到新的想法和原理。对于粒子物理学家来说，他们的“圣杯”就是建造一个“桌面”加速器，它的规模和成本是常规加速器的一个零头，可以用几十亿电子伏特的能量产生粒子束。

要理解这个问题，可以试想一场接力赛跑，参赛者沿着一个非常大的环形跑道分布。参赛者沿着跑道赛跑时交接接力棒。现在设想，每次接力棒从一个选手交到另一个选手手中时，选手都会获得一股额外的能量，这样他们依次沿着跑道越跑越快。

这与粒子加速器相像，它的接力棒就是一束亚原子粒子沿着环形跑道运动。每次粒子束从一位选手递到另一位选手时，这个粒子束就被注入一股射频电流（RF）能量，使它的速度越来越快。过去半个世纪中粒子加速器就是这样建造的。常规粒子加速器的问题是，我们已经接近了可以用来驱动加速器的射频电流（RF）能量的极限。

为解决这一难题，科学家们在试验一些有本质不同的方法，把能量泵入粒子束中，例如强大的激光束，它的强度按指数上升。激光的一个优点，在于它的“相干性”，也就是，所有的光波振动都精确一致，这就可能产生出极为强大的激光束。目前，激光束可以产生出几万亿瓦（terrawatts）的突发脉冲能量，持续短暂的一段时间。（与此相比，核电厂产生的只是微不足道的几十亿瓦能量，但很稳定。）现在能够产生1000万亿瓦（quadrillion瓦，或1　petawatt[拍瓦]）的激光器也出现了。

激光加速器的工作原理如下：激光的热度足以产生等离子气体（电离原子的集合），它会像波浪般起伏着高速运动。然后一束亚原子粒子在这一离子波产生的余波上“冲浪”。通过注入越来越多的激光能量，等离子波的行进速度越来越快，激发起在其上冲浪的粒子束的能量。

最近，通过用一个50万亿瓦的激光器对一个固体靶子冲击，英国卢瑟福阿普尔顿实验室（Rutherford Appleton Laboratory）的科学家得到了从该靶子发出的一束质子，在准直射束中负载了高达4亿电子伏特（400　Me　V）的能量。在巴黎理工学校，物理学家们在1毫米的距离上把电子加速到200 Me V（2亿电子伏特）。

迄今为止所建造的激光加速器都还很小，也不够强大。但是设想一下，这种加速器被放大了尺寸，它不是在1毫米的距离上工作，而是达到了整整1米，那时会怎么样。那时，这个加速器将能够在1米的距离上把电子加速到200 Ge V（2000亿电子伏特），实现桌面加速器的目标。2001年实现了另一个里程碑式的成就，SLAC（斯坦福线形加速器中心，即美国国家加速器实验室）的物理学家们在1.4米的距离上加速了电子。他们没有使用激光束，而是通过注入一束带电粒子（charged particles）产生出等离子波。虽然取得的能量较低，但它证明等离子波可以在1米距离上加速粒子。

在这一大有希望的研究领域中，进展异常迅速：由这些加速器获得的能量以每五年增长10倍。按照这种速度，桌面加速器原型机的出现可能已近在咫尺。如果它能够成功，它会使大型强子对撞机（LHC）看起来像是最后一只恐龙。虽然大有希望，但是摆在这样一种桌面加速器面前的障碍当然还有许多。如同冲浪者在凶险的海浪中被“掀翻”一样，要使粒子束稳当地驾在等离子波上是困难的（这些难题包括聚焦好粒子束，保持其稳定和强度）。但这些难题中似乎没有一样是无法克服的。



未来

要证明弦理论还有一些较大的风险。威滕坚信，在大爆炸的瞬间，宇宙膨胀得极为迅速，可能会有一根弦与之一起膨胀，结果太空中飘荡着一根巨大的宇宙比例的弦。他思忖道：“虽然听起来有些离奇，但这是我最希望的证实弦理论的一种场景，因为要解决这个问题，没有什么比在望远镜中看到一根弦更有戏剧性了。”

布莱恩·格林列举出五种可能证实弦理论的实验数据，或至少使它获得可信度：

1．难于捕捉的鬼魅般的中微子的微小质量可通过实验确定，并且弦理论可以对它进行解释。

2．可以找到违反标准模型的小现象，它们违反了点状粒子物理学的规则，比如某些亚原子粒子的衰变。

3．可以从实验中找到新的长程力（不包括引力和电磁力），这将意味着可以对卡拉比-丘流形作一定的选择。

4．实验室中可以找到暗物质粒子，并可以与弦理论的预言做比较。

5．弦理论或许可能对宇宙中暗物质的数量进行计算。

我个人的观点是，对弦理论的验证可能会完全来自于纯数学，而不是实验。由于弦理论号称要成为包罗万象的理论，因此它也应该是一种既包括日常能量也包括宇宙能量的理论。这样的话，如果我们最终能够完全解出这个理论，那么我们就应该能够计算普通物体的性状，而不只是那些只有在外太空才能找到的奇异的物体。例如，如果弦理论可以从基本原理计算出质子、中子和电子，这将是头等的成就。

在所有的物理学模型中（弦理论除外），这些熟悉的粒子的质量是手工放进去的。从某种意义上来说，我们不需要LHC来对这个理论进行验证，因为我们已经知道了几十种亚原子粒子的质量，所有这些都应该由弦理论在不加任何可调节参数的情况下确定。

正如爱因斯坦说的：“我相信，我们可以通过纯数学模式发现概念和定理……以它们作为理解自然现象的钥匙。经验或许可以暗示出相应的

数学概念，但数学概念多数肯定是不能从经验中推导出来的……因此，在某种意义上我认为，纯思维是能够像古人梦想的那样把握现实的。”

如果这是真的，那么也许M理论（或者不论是什么最终把我们引向量子引力理论的其他理论）将使寻找宇宙中所有智慧生命的最终之旅成为可能，使我们几万亿几万亿年后逃离这个濒临死亡的宇宙，找到一个新的归宿成为可能。

不知道看什么书，关注公众号：三秋君
备用公众号：三秋菌　　网址：sanqiu.cc



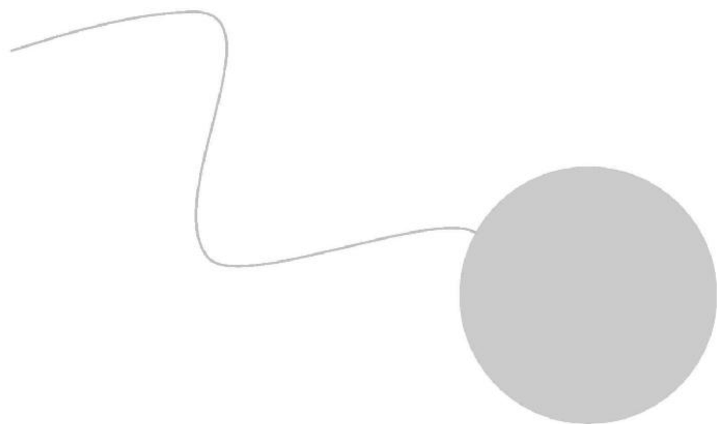
微信搜一搜
三秋君
获取更多精品书籍，漫画，杂志

PART THREE
ESCAPE INTO HYPERSPACE



第三部分

遁入超空间



第10章　万物之终结

> （让我们考虑一下）现在大多数物理学家的观点，也就是，太阳及其所有的行星最终将变得对于生命来说过于寒冷，除非真的有什么大型天体冲进太阳系，重新赋予其生命——由于我相信，在遥远的未来，人类将变得比现在完美得多，所以，人类和其他生物在经历如此漫长的进化之后最终会注定归于灭绝这种想法是不可接受的。
>
> ——查尔斯·达尔文（Charles Darwin）

根据挪威传说，最后审判日，或者叫做“Ragnarok”（世界末日，善恶大决战所导致的世界毁灭。——编者注），意思是天神隐没时分，将会伴随着大洪水。尘世（Midgard）与天堂都将像被铁钳夹住般陷入彻骨冰寒之中。刺骨的寒风、扑面的暴风雪、毁灭性的地震和饥荒在大地上肆虐，男女老少大批死亡。有三个这样的冬天就会使地球瘫痪，没有喘息的机会，贪婪的狼群会吞掉太阳和月亮，使世界完全陷入黑暗。天上的群星坠落，大地颤抖，山崩地裂。乱世之神洛基（Loki）逃逸，群魔挣脱束缚，在荒凉的大地上散布战争、混乱和不和。

众神之父奥丁（Odin）将在瓦尔哈拉殿堂（Valhalla）最后一次召集他的勇士进行最后一搏。最终，随着众神逐个死去，邪神苏尔图尔（Surtur）喷出火和硫黄，点燃巨大的地狱之火，吞灭整个天地。当整个宇宙陷入火海之中的时候，大地陷入海洋，时间停止。

但从这场劫后灰烬之中，新的起始在孕育。与过去不一样的一个新的大地从海中升起，新的果实和奇异的植物从肥沃的土壤中泉涌而出，催生出一个新种族的人类。

在维京人（Viking）的传说中，世界末日的凄惨景象是严寒、烈焰和最终的厮杀。在世界各地的神话中，类似的题材都可以找到。世界的末日伴随着巨大的天灾，通常是大火、地震或是暴风雪，最后是一场正义与邪恶的战斗；但也包含着希望的信息，从灰烬中一切重新开始。

科学家们面对无情的物理定律，现在也必须面对同样的主题。与篝火旁传播的神话不同，科学家们对宇宙终结的看法要由硬数据说了算。但是，科学界恐怕也要普遍接受类似的景象。从爱因斯坦方程得出的各种解中，我们同样看到，未来可能也要包括严寒、烈火、天灾以及宇宙的终结。但是最终的再生又在哪里呢？

根据从WMAP卫星得到的一幅照片，有一股神秘的反引力正在使宇宙的膨胀加速。如果这一情况持续几十亿年到几万亿年，宇宙最终将达到“大冻结”，与预兆着众神隐没的大暴雪相似，使所有我们所知的生命终结。这种把宇宙推开的反引力与宇宙的容积成正比。于是，宇宙变得

越大，把星系互相推开的反引力就越大，这反过来又使宇宙的容积更大。这一恶性循环无止境地重复下去，直至宇宙进入失控状态，并以指数幂的速度增长。

最终，这将意味着，由于几十亿个邻近星系飞速越离了我们的事件穹界（event horizon），整个的可见宇宙中只剩下本星系团（Local Group）中的36个星系。随着星系间的空间以比光速更快的速度膨胀，宇宙将变得孤寂到令人恐怖的地步。温度将随着能量在空间中散布得越来越稀薄而跌落。当温度跌到接近绝对零度的时候，智慧生命的大限就到了：他们将被冻死。



热力学三定律

如果整个世界像莎士比亚所相信的那样是个大舞台，那么最终一定会有个“第三幕”戏。在第一幕中，我们有了大爆炸，最终在地球上产生了生命和意识。在第二幕中，可能我们还活着，对恒星和星系进行探索。最后，到了第三幕，我们面临着宇宙在大冻结中最终死去。

最终，我们将发现，这个剧本只能遵循热力学定律。19世纪，物理学家们计算出了支配热物理学的热力学三定律，并开始思索宇宙的最终之死。1854年，伟大的德国物理学家赫尔曼·冯·亥姆霍兹（Hermann von Helmholtz）发现，热力学定律可以应用于整个宇宙，也就是说，我们身边的一切，包括恒星和星系，最终都不免消耗殆尽。

第一条定律说[20]，物质和能量的总量守恒。虽然能量和物质可以相互转换（通过爱因斯坦的著名方程式$E = mc^2$），但物质和能量的总量永远不能被创造或销毁。这条定律反过来又意味着，根据已知的物理学定律，号称可以“无代价获利”的“永动机”是不可能的。

第二条定律是最神秘也是最深奥的。它说宇宙中熵（混沌或无序）的总量只能永远增加。换句话说，万事万物最终必然老化和耗尽。森林起火、机器生锈、帝国消亡、咖啡混合、人体老化，所有这一切都代表宇宙中的熵增加了。例如，要点燃一张纸是很容易的。这对总的混沌世界造成净增加。然而，要把燃起的烟再恢复为纸则是不可能的。（加上机械作用之后，熵可以被降低，例如冰箱，但这只是在很小的邻近范围内；整个体系中熵的总量，这指的是冰箱再加上它所在的整个环境，永远只会增加。）

亚瑟·爱丁顿有一次谈论到第二定律：“我认为，熵永远增加的定律，也就是热力学第二定律，在大自然法则中占到至高无上的地位……如果你的理论被发现违反了热力学第二定律，我可以告诉你，你的理论是没有希望的；除了在奇耻大辱中失败，你什么也得不到。”

（起初，地球上存在着形形色色的复杂生命这一现象看来似乎违反了热力学第二定律。在早期地球的混沌之中出现了复杂的生命形式，种类多到难以置信，甚至还孕育出了智慧生命和意识，这似乎完全是一种无中生有的过程，它使熵的总量降低了，这看起来令人惊异。有些人认为这一奇迹证明有仁慈的造物主在插手其间。但是不要忘了，生命是由自然进化法则推动的，而且熵的总量仍在增加，因为太阳在不断地为生命添加燃料。如果我们把太阳和地球包括进去，熵的总量还是增加了。）

第三条定律说，没有任何冰箱可以达到绝对零度。你可以达到离绝对零度只有毫厘之差，但你永远达不到零运动的状态。（而且，如果我们把量子原理包括进去的话，这意味着分子中将永远有一小点能量。这是因为，零能量意味着我们可以知道每个分子的准确位置和速度，而这就会违反了测不准原理。）

如果把第二定律应用于整个宇宙，那就意味着宇宙最终将耗尽。恒星将耗尽其核燃料，星系将停止照亮天空，宇宙中将只剩下一堆无生命的死矮星、中子星和黑洞。宇宙将陷入永恒的黑暗。

有些宇宙学家想要借助一种振荡宇宙学说来逃避这一“热寂”（heat death）。随着宇宙膨胀以及最终收缩，熵会继续增加。但在大坍缩之后，还不清楚宇宙中的熵会发生什么变化。有些人认为，也许宇宙在下一个周期只是原样再重复一次。更现实的想法是，熵会在下一个周期中延续，这意味着宇宙的生命周期会随着每增加一个周期而逐步加长。但不论人们怎样看这个问题，振荡的宇宙与开放的和封闭的宇宙一样，最终结果都是毁灭一切智慧生命。



大坍缩

用物理学来解释宇宙终结的第一次尝试，是1969年由马丁·里斯爵士写的一篇论文，题名“宇宙的坍塌：末世论的研究”。在那个时候，欧米伽的值还基本没人知道，所以他把它假定为2，这意味着，宇宙最终将停止膨胀，并在大坍缩中，而不是大冻结中死去。

他计算出，宇宙的膨胀终将停息，星系间的距离将是今天的两倍远，引力终于克服了宇宙原来的膨胀。我们现在看到的太空中的红移现象，将因为星系竞相朝我们飞来而变为蓝移。

根据这一说法，距今大约500亿年以后，天灾事件将会发生，预示宇宙的垂死挣扎。最终大坍缩之前1亿年，宇宙中的星系，包括我们自己的银河系，将开始互相碰撞，最终融合。他发现奇怪的是，由于有两个原因，单个的恒星甚至在发生互相碰撞之前就会自行解体。第一，太空中其他恒星的辐射将随着宇宙收缩而提高能量，这样，恒星将浸没在其他恒星炙热的蓝移光中。第二，微波背景辐射的温度将随着宇宙的温度急剧攀升而大为加强。这两种作用加在一起所产生出来的温度将超过恒星的表面温度，使其吸收热的速度快于释放热的速度。换句话说，恒星可能会解体，变成超高温度的气体云而消散。

在这样的环境下，智慧生命受到邻近恒星和星系倾泻而下的宇宙高温炙烤，将不可避免地消失，无可逃遁。正如弗里曼·戴森所写的：“我不得不承认，在这种情况下我们不可能逃脱被煎炸的命运。不管我们向地球内部挖得多深，以求遮避蓝移背景辐射，我们也只能把悲惨的终结推迟几百万年。”

如果宇宙最终走向大坍缩，那么剩下的问题就是，宇宙会不会像振荡宇宙学说那样坍塌而后再生。这是波尔·安德森（Poul Anderson）的小说《τ零度》（*Tau Zero*）中所采用的场景。如果宇宙完全符合牛顿学说，那么，如果星系被互相向对方挤压的时候有足够的侧向运动，这是有可能的。在这种情况下，恒星可能不会被挤压成一个单一的点。它们可能在挤压力最大的点上互相错开，然后弹开，而不是互相碰撞。

然而宇宙遵循的不是牛顿学说，而是爱因斯坦的方程式。罗杰·彭罗斯（Roger Penrose）和斯蒂芬·霍金证明，在最寻常的条件下，一堆坍塌挤压的星系必然被挤压成一个奇点。（这是因为星系的侧向运动有能量，因此会与引力相互作用。这样，爱因斯坦理论中的引力就要比坍塌宇宙学说所运用的牛顿理论中的引力大得多，于是宇宙就坍塌为一个单一的点。）



宇宙的五个阶段

然而，最近从WMAP卫星得到的数据倾向于大冻结说。为了分析宇宙的寿命，科学家们，如密歇根大学的弗雷德·亚当斯（Fred Adams）和格雷格·拉夫林（Greg Laughlin）试着把宇宙的年龄分为了5个分明的阶段。由于我们探讨的是真正的天文时间尺度，我们要采用对数时间框架。这样，10^{20}年就以20来表示。（这个时间表是宇宙在加速这一概念的意义被完全认识清楚之前提出的。但是宇宙阶段的大致划分并没有变。）

挥之不去的一个问题是：智慧生命有没有能力运用智慧从这些阶段中存活下来，从一系列的天灾乃至宇宙的死亡中存活下来？

第一阶段：原始时期（-50至5之间，或10^{-50}至10^{5}秒之间）

在第一阶段，也就是原始时期，正如我们已看到的，宇宙经历了快速地膨胀但同样也是快速地冷却。随着它的冷却，宇宙中曾一度统一在一个总的“超级作用力”中的各种作用力，逐步分崩离析，形成我们今天所熟悉的四种力。首先分离出来的是引力，然后是强核作用力、电磁力，最后是弱核作用力。起初，宇宙是不透明的，天空是白色的，因为光在产生出来之后很快就会被吸收。但是在大爆炸380000年之后，宇宙已经冷却到足以使原子形成，而不再被剧热所打碎。天空于是转为黑色。微波背景辐射就是源自这个时期。

在这一时期，原始的氢聚变为氦，产生出目前散布在宇宙各处的星际混合燃料（current mixture of stellar fuel）。在宇宙演化的这一阶段，我们知道的生命是不可能的。温度极高，任何DNA或其他自催化分子，即使形成了也会在与其他原子的随机碰撞中破坏，使生命所需要的稳定化学成分成为不可能。

第二阶段：群星遍布时期（6至14之间，或10^{6}至10^{14}秒之间）

如今我们正生活在第二阶段，即群星遍布时期（stelliferous era），氢气被压缩，恒星已点燃，照亮苍穹。在这一时期，我们看到富含氢的恒星熊熊燃烧几十亿年，直至耗尽它们的核燃料。哈勃空间望远镜拍摄到了处于各个演化阶段的恒星，包括一些由旋涡盘状的尘埃和碎片围绕的年轻恒星，它们可能就是以后形成行星和太阳系的前身。

这一阶段具备创造DNA和生命的理想条件。既然在可见宇宙有巨量

的恒星，那么天文学家就试图提出在已知科学定理的基础上解释得通的论点，来说明其他行星系统也可以产生智慧生命。但是，任何智慧生命形式都面临着若干宇宙障碍，其中有许多是智慧生命自己造成的，例如环境污染、全球变暖以及核武器。假设智慧生命还没有自我毁灭，那么它还要面对一系列难于克服的自然灾害，其中任何一项都具有毁灭性。

在几万年的时间尺度上，可能会出现冰河时期，与曾经把北美洲埋在几乎1英里（1609米）的冰层之下的那次差不多，使人类文明成为不可能。1万年以前，人类生活得如同狼群一般，以小而孤立的族群为单位寻觅着一星半点的食物，不可能有知识和科学方面的积累。没有书面文字。人类一门心思只有一个目的：活下来。然后，由于某些我们至今仍不明白的原因，冰河期结束了，人类开始迅速从寒冰中崛起，成为明星。然而，这一短暂的“间冰期”不可能永久延续。也许再过1万年，会再有一次冰河期覆盖地球的大部分地区。地理学家们相信，地球围绕其轴线自转中微小变化的效应最终会积聚起来，使来自冰盖的喷射流降临到低纬度，把地球覆盖在严寒的冰层之下。那时我们说不定需要躲入地下才能保暖。过去地球曾一度完全被寒冰覆盖。这也许会再次发生。

在几千年至几百万年的时间尺度上，我们必须有准备以应付与陨星和彗星相撞。6500万年以前灭绝了恐龙的极有可能是发生了与陨星和彗星的碰撞。科学家们相信，一个直径可能不到10英里（16.09千米）的地外天体，一头栽进了墨西哥的尤卡坦半岛，掏出了一个180英里（290千米）直径的陨石坑，碎片四射，进入大气层，遮蔽了太阳，使地球陷入黑暗，造成严寒气候，使植被和恐龙这一当时在地球上占主宰地位的生命形式灭绝。在不到一年的时间里，恐龙和地球上的大多数物种就灭绝了。

从过去发生碰撞的频率来推测，今后50年中，小行星撞击地球造成世界灾难的可能性有十万分之一。在几百万年时间里发生重大碰撞的可能性说不定高达近100%。

（在地球所在的内太阳系，可能有1000到1500颗直径在1千米以上的小行星，以及100万颗直径在50米以上的小行星。小行星观测报告以每天15000份的速率涌入位于美国剑桥的史密森天体物理天文台〔Smithsonian Astrophysical Observatory〕。幸运的是，只有42颗小行星可能撞上地球，其概率很小，但比较确定。过去曾有过几次有关这些小行星的“虚惊”，最著名的一次是小行星1997XF11，天文学家们误以为它会在30年内撞上地球，这一消息成了全世界的头版头条。但是经仔细研究一颗叫做1950DA的小行星的轨道，科学家们计算出，它有可能在2880年3月16日撞上地球，其概率虽然很小，但却不是零。在加利福尼亚大学圣克鲁斯〔Santa Cruz〕分校所做的计算机模拟显示，如果这颗小行星撞上海洋，它会激起400英尺〔122米〕高的浪潮，以排山倒海般的洪水淹没大部分的沿海地区。）

在几十亿年的尺度上，我们就要为太阳吞噬掉地球而担忧了。今天

的太阳温度已然比其幼年时期提高了30%。计算机研究显示，35亿年以后，太阳的亮度将比现在提高40%，这意味着地球将逐步升温。白天在天空中看到的太阳将越来越大，直至把地平线以上的部分几乎完全填满。从短期上来讲，生物将拼命躲避太阳的烘烤，可能被迫退回海洋，使这颗行星上的进化进程逆转。最终海洋本身也会沸腾，使得我们所知道的生命形式成为不可能。50亿年以后，太阳核心中氢的供给将消耗殆尽，从而变异为一颗巨大的红巨星。有些红巨星非常之大，如果把它们放在我们这颗太阳的位置上的话，它可以把火星吞没其中。然而，我们的太阳可能只能向外膨胀到地球轨道那么大，把水星和金星吞没，并使地球上的山脉熔化。这样说来，我们的地球有可能在大火中死去，而不是在寒冰中死去，遗留下一团燃烧干净的灰烬围绕太阳转。

有些物理学家论证，在这一情况发生之前，就算我们还没有乘坐巨大的宇宙方舟从地球移居到其他行星上，我们也应已能够运用先进技术使地球在更大的轨道上围绕太阳旋转了。“只要人类技术提高得比太阳变亮的速度更快，地球就能保持生命旺盛。”天文学家和作家肯·克罗斯韦尔如是说。

科学家提出了若干种把地球从它现在围绕太阳旋转的轨道上移开的办法。其中一种简单的办法是，小心翼翼地使一系列小行星从小行星带中改道，让它们围绕着地球飞快旋转。这种弹弓效应会把地球轨道抻开，使它与太阳之间的距离加大。抻开的距离只能逐次加码，但我们还有足够的时间使几百颗小行星改道，完成这一壮举。“在太阳膨胀为红巨星之前的几十亿年时间内，我们的后代将能够捕获一颗过路的恒星，把它放到围绕太阳旋转的轨道上，再使地球跨出太阳轨道，转入围绕新恒星旋转的轨道。”肯·克罗斯韦尔接着写道。

我们的太阳将遭遇与地球不同的命运，它将不是死于火，而是死于冰。最终，作为一颗红巨星，以氦为燃料燃烧7亿年之后，太阳的大部分核燃料都将耗尽，引力将把它压缩为一颗如地球般大小的白矮星。我们的太阳太小，不会经历那种称做超新星的灾变而变为黑洞。我们的太阳变为白矮星之后，最终将冷却，发出淡淡的红光，然后是棕色，最后变为黑色。它将变为一块死寂的核灰烬在宇宙空间漂浮。我们身边所见的差不多所有的原子，包括我们自己的身体以及我们所钟爱的人们的身体中的原子，未来的归宿都在一团烧净的灰烬上，围绕着一颗黑矮星旋转。由于这颗矮星的重量将只有0.55个太阳质量，地球遗骸将在一个比今天远出70%的轨道上安顿下来。

在这个尺度上，我们看到，地球上的动植物繁盛期将只不过延续了10亿年（如今这个黄金时期已经过了一半）。“大自然母亲生来不是要让我们快乐的。”天文学家唐纳德·布朗利（Donald Brownlee）说。与整个宇宙的寿命相比，生命之花只能持续不能再短的一瞬间。

第三阶段：退化时期（15至39之间，或10^{15}至10^{39}秒之间）

在第三阶段，也就是在退化时期，宇宙中恒星的能量将最终耗尽。先燃烧氢后烧燃氦这一看似永恒的过程最终停止下来，只剩下一块块了无生气的、已经死去的核物质，其形式是矮星、中子星和黑洞。天空中的恒星不再闪耀，宇宙逐渐陷入黑暗。

在第三阶段中，随着恒星失去其核动力，温度大幅度下降，围绕着死恒星旋转的任何行星都将陷入冰冻。假设地球仍然完好，那么不论地球表面成了什么样子，它都将变成一块冻结的冰层，迫使智慧生命寻找新的家园。

巨星可能持续几百万年，像我们的太阳那样燃烧氢的恒星可持续几十亿年。与此不同，微小的红矮星则实际可燃烧几万亿年。这就是为什么重新将地球轨道安置在红矮星身边的想法在理论上讲得通。离地球最近的恒星，半人马比邻星，是一颗红矮星，离地球只有4.3光年。我们这个最近的邻居，其重量只有太阳质量的15%，亮度只有太阳的400分之一，所以，任何围绕着它旋转的行星都必须离得非常近才能享受到它那微弱的星光。地球围绕这颗恒星的轨道要比现在围绕太阳的近20倍才能接受到同样多的阳光。一旦在围绕红矮星的轨道上旋转，行星就可以得到持续几十亿年的能量。

最终，唯一继续燃烧核燃料的恒星将是红矮星。然而到了一定的时候，即使是它们也会变暗。100万亿年以后，最后的红矮星也将绝迹。

第四阶段：黑洞时期（40至100之间，或10^{40}至10^{100}秒之间）

在第四阶段，也就是黑洞时期，唯一的能源将是从黑洞缓慢蒸发的能量。正如雅各布·贝肯斯坦（Jacob Bekenstein）和斯蒂芬·霍金证实的那样，黑洞并不真是黑色的，它们实际辐射出微量的能量，这被称做“蒸发”（evaporation）。（在实践中，这种黑洞蒸发非常小，难以通过实验观察到，但是在长时间尺度上，蒸发最终决定黑洞的命运。）

蒸发中的黑洞可有不同的寿命。像质子那么大的微型黑洞在太阳系寿命那么长的时间内可以辐射出100亿瓦的能量，像太阳一样重的黑洞将蒸发10^{66}年，像星系团一样重的黑洞将蒸发10^{117}年；然而，当黑洞缓慢地释放出辐射，最后接近其生命尾声的时候，它会猛然爆炸。智慧生命有可能像无家可归者挤坐在即将熄灭的余烬周围一样，聚集在蒸发中的黑洞所释放出的微弱热量周围，摄取一点温暖，直至它们蒸发完毕。

第五阶段：黑暗时期（超过101，或超过10^{101}秒）

在第五阶段，我们进入了宇宙的黑暗时期，所有热源都最终消耗殆尽。在这一阶段，宇宙缓慢地向终极的热寂（heat death）漂移，温度逼近绝对零度。这一时刻，原子本身几乎停顿。说不定连质子本身也衰变了，只剩下一片漂浮着的光子海，以及稀薄的互相微弱作用的粒子汤

（中微子、电子和它们的反粒子，即正电子）。宇宙可能由一种新的叫做正电子素（positronium）的“原子”构成，它由互相对绕旋转的电子和正电子构成。

有些物理学家猜测，这种由电子和反电子构成的“原子”说不定能在这一黑暗时期成为一种新的基本要件，形成智慧生命。然而这种想法面临着难以逾越的困难。正电子素原子的大小可与普通原子媲美。但在黑暗时期的正电子素原子的直径会达到10^{12}百万秒差距（megaparsecs），这要比我们今天的可见宇宙大上几百万倍。所以在这种黑暗时期，即使这种“原子”能够形成，它们也会像整个宇宙那么大。由于在黑暗时代，宇宙可能已膨胀到了极远的距离，它将很容易容纳这些巨大的正电子素原子。但是由于这些正电子素原子非常大，这意味着任何以这些“原子”为基础的“化学反应”将在惊人的时间尺度上进行，与我们所知道的任何东西都完全不同。

正如宇宙学家托尼·罗斯曼（Tony Rothman）写的：“于是，10^{117}年以后，整个宇宙最终就是几个拴在笨重轨道上的电子和正电子，从重子衰变后剩下的中微子和光子，以及从正电子素中湮灭和黑洞中逃逸的质子。因为这也是写在命运之书中的。”



智慧生命能幸免于难吗？

根据大冻结时期终结时令人头脑发麻的条件，科学家们争论，有没有什么智慧生命可以幸免于难。乍看起来，讨论在第五阶段智慧生命有没有可能存活下来似乎毫无意义，因为那时温度跌到了接近绝对零度。然而，实际上物理学家们对智慧生命能否存活下去进行了热烈的讨论。

这场讨论集中在两个关键问题上。第一个问题：当温度接近绝对零度的时候，智慧生命能否开动他们的机器？根据热力学定律，由于能量从较高温度向较低温度流动，可以利用能量的这种流动完成有用的机械任务。例如，利用一台连接两个不同温度层的热引擎，可以做机械工作。温差越大，引擎的效能就越高。这是带动了工业革命的那类机器的基础，例如蒸汽机和机车。初看起来，在第五阶段要利用热引擎做任何工作都是不可能的，因为所有温度都将是一样的。

第二个问题：智慧生命形式能够发送和接收信息吗？根据信息理论，可以发送和接收的最小单位与温度成正比。当温度降到接近绝对零度，处理信息的能力也会受到极大的破坏。随着宇宙冷却，可以传递的信息比特将会变得越来越小。

物理学家弗里曼·戴森（Freeman Dyson）等人重新分析了在垂死宇宙中度日的智慧生命面临的物理条件。他们问道，能不能找到别出心裁的方法，使温度即使降到接近绝对零度时智慧生命也能存活？

当宇宙中温度开始普遍下降时，起初生物将试图利用基因工程降低自身的体温。这样，他们将能够大大提高日见其少的能源的效率。但最终体温将达到水的结冰点。这时，智慧生命可能将不得不放弃他们脆弱的血肉之躯，换上机器身体。机器身体远比血肉之躯更能抵挡严寒。但机器也必须遵循信息理论和热力学定律，即使对机器人来说生存条件也将异常艰辛。

即使智慧生命放弃其机器躯体，转变为纯意识，信息处理的问题仍然存在。随着温度继续下降，唯一活命的办法就是“思维”放慢。戴森（Dyson）的结论是，通过把处理信息所需要的时间拉长，并通过冬眠保持能量，智慧生命形式还将能够无限期地进行“思维”。虽然思维和信息处理的物理时间也可能会延展为几十亿年，但智慧生命感受到的“主观时间”仍将保持不变。他们将永远觉察不到这当中的区别。他们仍将能够进行深度思索，只是时间尺度大大地放慢了。戴森以虽然奇怪但乐观的调子得出结论，以这种方式，智慧生命将能够无限期地处理信息并进行“思维”。对哪怕单独一个念头进行思索都可能要耗费几万亿年的时

间，但从他们的“主观时间”来看，思索过程仍是正常进行的。

但是如果智慧生命思维放慢，说不定他们会目睹宇宙中发生宇宙量子跃迁。一般来说，这种宇宙跃迁，例如新宇宙诞生，或向另一个量子宇宙跃迁，要以几万亿年的时间跨度来发生，因此是纯理论上的。但是在第五阶段，“主观时间”中的几万亿年将被压缩，对于这些生物来说可能只相当于几秒钟；他们的思维如此之慢，以至于在他们看来奇异的量子事件一直都在发生。他们可能会时常目睹泡泡宇宙从虚无中产生出来，或量子跃迁进入另类宇宙。

但是根据最近的发现，宇宙正在加速，物理学家们重新研究了戴森的著作，这又点燃了新一轮的辩论，得出了相反的结论，即，智慧生命必然在加速的宇宙中灭绝。物理学家劳伦斯·克劳斯（Lawrence Krauss）和格伦·斯塔克曼（Glenn Stackman）得出结论说：“几十亿年以前，宇宙太热，生命不能存在。从现在起无数岁月之后，它又会变得极冷极空，不管多么聪明的生命都将灭绝。”

在戴森原来的著作中，他设想宇宙中2.7度（K）的微波辐射将继续无止境地下降，这样智慧生命也许可以利用这些微小的温差做有用功。只要温度持续下降，总是可以提取到有用功的。然而，克劳斯和斯塔克曼指出，如果宇宙有宇宙常数，那么温度就不会像戴森设想的那样无止境地下降，而是会最终达到一个下限，也就是吉本斯霍金温度（Gibbons-Hawking temperature）（约10^{-29}度）。在遥远的未来，一旦达到这个温度，宇宙各处的温度都将完全一样，因此智慧生命将无法利用温差提取有用的能量。一旦整个宇宙达到统一的温度，一切信息处理过程都将停止。

（20世纪80年代，人们发现某些量子系统〔例如液体中的布朗运动〕可以作为计算机的基础，而不论外界的温度有多冷。所以，即使温度跌落，这些计算机仍能利用越来越少的能量工作。这对于戴森来说是个好消息，但这里面有个问题。它必须满足两个条件：第一，它必须与其环境保持平衡，它必须永远不丢弃信息。但如果宇宙在膨胀，那么平衡就是不可能的，因为辐射会被稀释，其波长会被延展。加速中的宇宙变化太快，系统无法达到平衡。第二，永远不丢弃信息的这项条件意味着智慧生命永远不能忘记任何东西。最终，一个不能丢弃记忆的智慧生命会发现自己一遍又一遍地生活在过去的记忆之中。“所谓‘永恒’只会变成一座监狱，而不会使创造和探索的领域无止境地变得越来越宽广。它也可能是涅槃，但那还是生命吗？”克劳斯和斯塔克曼问。）

归结起来，我们看到，如果宇宙常数接近于零，那么在宇宙冷却的时候，智慧生命可以通过蛰伏以及放慢“思维”而无限期地“思维”下去。但是在像我们这样一个加速的宇宙中，这是不可能的。根据物理定律，一切智慧生命注定了要消亡。

从这种宇宙视野的制高点来看，我们可以看出，我们所知道的生命

所拥有的生存条件不过是一个大得多的场景中的一个瞬息即逝的小插曲。只有一扇微小的“窗口”，那里的温度“正合适”支持生命，既不太热，也不太冷。



逃离这个宇宙

死亡可以定义为最终停止处理一切信息。宇宙中的任何智慧物种从开始理解物理学基本定律的时候起，就将被迫认识到，宇宙及其可能容纳的任何智慧生命最终都将死亡。

幸运的是，我们还有充分的时间积聚起能量完成这样一个旅程，而且，就像我们在下一章中将要看到的那样，还存在其他选择。我们要探讨的问题是：物理学定律允许我们逃往平行宇宙中去吗？

第11章　逃离宇宙

任何足够先进的技术都与魔法无异。

——阿瑟·C．克拉克（Arthur C．Clarke）

在小说《亘》（*Eon*，又译《永世》）中，科幻作家格雷格·贝尔（Greg Bear）讲述了一个从支离破碎的世界中逃进平行宇宙的惊险故事。一颗庞大的小行星从空间接近了行星地球，来势汹汹，人们惊恐万状和歇斯底里。然而，它没有击中地球，而是奇怪地在一个围绕地球的轨道上安顿了下来。成群结队的科学家被派往太空进行调查。不过，科学家们找到的不是一片荒凉、了无生气的地面，而发现这颗小行星实际上是空心的，它是一艘被一个拥有高级技术的族类放弃的巨型太空船。在空无一人的太空船内部，这本书的女主人公，理论物理学家帕特里夏·瓦斯克斯发现了7个极为宽广的舱室，它们通往一些不同的世界，其中有湖泊、森林、树木甚至整座城市。接下来，她偶然找到了一座巨大的图书馆，记载了这些奇异人们的完整历史。

她随意捡起一本旧书，发现它是马克·吐温写的《汤姆·索亚历险记》（*Tom Sawyer*），不过是2110年重印的。她意识到，这颗小行星根本不是来自于一个异类文明，而是来自地球本身，来自1300年以后的未来。她了解到如下这个令人心悸的真相：这些陈旧的记录告诉人们在遥远过去爆发的一场古代核战争，杀死了几十亿人，它还引发了核冬天，又杀死了几十亿人。经过对这场核战争的日期进行确认，她吃惊地发现它就发生在两个星期以后！她毫无能力阻止这场即将消灭整个地球的不可避免的战争，她所钟爱的亲人们即将被杀死。

她从这些旧档案中惊恐地找到了她个人的历史记录，发现她在未来所做的空间时间研究后来会为这颗小行星中一个巨大的隧道奠定基础，这个隧道被称做“道”，它能让人们离开小行星进入其他宇宙。她的理论证明存在着无穷数量的量子宇宙，代表了所有可能的现实。此外，她的理论还可以用来沿着“道”建立许多出入口，使人进入这些宇宙，它们各自都有不同的历史。最后，她进入了隧道，沿着“道”旅行下去，遇到了逃到小行星上的人们，他们是她的后代。

这是个奇怪的世界。几个世纪之前，人们放弃了严格意义上的人类外形，现在可以换上各种各样的形状和身体。即使是早已死去的人们也把他们的记忆和个性储存在计算机数据库中，从而可以使他们起死回生。他们可以多次被复活并下载到新的身体中。他们身体中的植入体可以让他们获得几乎无穷的信息。虽然这些人几乎可以拥有他们想要的任何东西，但我们的女主人公还是在这个技术的天堂中感到悲哀和孤独。她思念她的家庭、男朋友以及属于她的那个地球，而所有这一切都在核战争中摧毁了。最后，她被允许搜索沿着“道”安排的多元宇宙，找出一个核战争被避免、她的亲人还活着的平行地球。最终她找到了一个，一

跃而入。（不幸的是，她犯了一个小小的数学错误，在她选定的这个宇宙中的埃及帝国始终没有崩溃。她以她的余生企图逃离这个平行地球，找到她真正的家。）

虽然《亘》中描绘的维度空间入口纯属虚构，但它提出了一个有趣的问题，与我们有关：如果在我们自己的宇宙中，条件变得无法忍受，我们能找到一个平行宇宙作为庇护所吗？

我们这个宇宙最终会解体为一团无生命的电子、中微子和光子雾，这似乎预示着一切智慧生命最后的命运。在宇宙尺度上，我们看到生命是何等脆弱和短暂。允许生命兴旺的时期集中在一个非常狭窄的频带中，与照亮夜空的恒星的寿命相比，瞬息即逝。随着宇宙变老和冷却，似乎生命不可能再继续。物理学和热力学定律很清楚：如果宇宙像奔命一样地继续加速膨胀，我们所知道的生命最终将难逃厄运。但是，当宇宙的温度在亿万年中继续下降的时候，先进的文明会不会试图拯救自己？通过动用它所拥有的一切技术，以及宇宙可能存在的任何其他文明所拥有的技术，它能不能逃脱不可避免的大冻结？

由于宇宙各阶段演变的速率是以几十亿年到几万亿年来衡量的，勤奋智慧的文明还有充足的时间来迎接这些挑战。虽然还难以想象先进文明能拿出何种技术来延长他们的生存，还只能做一种纯粹的猜测，但我们可以运用已知的物理学定律来探讨，几十亿年以后会有多么丰富的办法可供他们选择。物理学不会告诉我们，一个先进的文明会采用哪些具体的计划，但它有可能告诉我们，能够帮助我们逃生所需要的参数能有多大的范围。

对于一位工程师来说，离开宇宙的主要问题在于我们是否有足够的资源来建造一架能够实现这一奢望的机器。但对于一位物理学家来说，主要的问题不在于此：物理学定律是否允许这些机器的存在才是第一位的。物理学家要求有“原理的证明”（proof of principle），也就是，我们要求证明，在你拥有足够先进的技术的情况下，根据物理学定律，逃往另一个宇宙是可以做到的。我们是否拥有足够的资源这个问题，相对是个较小的具体细节，只能留给几十亿年以后的未来，面临着大冻结的那些文明来解决。

根据皇家天文学家马丁·里斯爵士的说法：“虫洞、额外的维度以及量子计算机，给人类提供了遐想的空间，它们最终说不定能把我们的整个宇宙改造成一个‘有生命的宇宙’。”



I、II、III类文明

为了理解各种文明今后几千年到几百万年间的技术水平，物理学家们有时根据它们对能量的消耗以及热力学定律来对它们进行划分。在对天空进行扫描，寻找智慧生命的迹象时，物理学家们不是在寻找“绿色小矮人”，而是寻找具备I、II、III类文明的能量产出特征的文明。这几个档次的概念是20世纪60年代由俄罗斯物理学家尼古拉·卡尔达舍夫（Nikolai Kardashev）在对外太空可能存在的文明所发出的射电信号进行分类时提出的。每种文明类型所释放的辐射都有其特有的形式，可以被测量和分类。（即使一个先进的文明想掩盖其存在，我们的仪器也能把它们探测到。根据热力学第二定律，任何先进文明都将产生以废热为形式的熵，它不可避免地要漂入外太空。即使它们想掩盖它们的存在，也不可能把由它们的熵而造成的轻微辐射掩盖起来。）

I类文明应已掌握了行星级别的能量。它们对能量的消耗可以被精确测量到：从定义上来说，它们能够利用到达它们星球的全部太阳能，相当于10^{16}瓦。拥有了这种行星能量，它们应可以对天气进行控制或更改，使飓风改道，或在海洋上建立城市。这种文明真正成了它们行星的主人，并建立了一个行星级的文明。

II类文明应已耗尽了单独一颗行星的能量，并已掌握了整个一颗恒星的能量，大约相当于10^{26}瓦。它们能够利用它们的恒星的全部能量输出，因而也可以想象，它们能够控制太阳耀斑，并点燃其他恒星。

III类文明已耗尽了一个单一太阳系的能量，并已在其本星系的广大范围内进行殖民。这种文明能够利用100亿颗恒星的能量，大约相当于10^{36}瓦。

每类文明与比其低一个级别的文明之间的差别为100亿倍。因此，一个III类文明由于掌握了几十亿颗恒星系的能量，它可以利用的能量产出量是II类文明的100亿倍，而II类文明掌握的能量输出则为I类文明的100亿倍。虽然这些文明之间的差距似乎到了天文数字，但还是有可能计算出要达到第III类文明的地位估计需要多少时间的。假设一个文明以每年2%～3%的低速度在能量产出方面增长。（这种假设是有道理的，因为经济增长是可以相当准确地计算出来的，而它是与能量消耗直接联系的。经济规模越大，它的能量需求就越大。由于许多国家的国内生产总值，也就是GDP，是以每年1%～2%之内的速度增长，我们可以预期它的能量消耗大致也是按同样的速率增长的。）

按照这种平缓的速率来算，我们可以估计，我们现在的文明还需要

大约100年到200年的时间才能达到I类文明的地位。要达到II类文明的水平需要5000到10000年的时间，要达到III类文明的水平需要10万到100万年的时间。以这样一个尺度来看，我们今天的文明可以分类为0类文明，因为我们主要从死去的植物获取能量（石油和煤炭）。一场飓风可以释放出几百枚核武器的能量，但即使对飓风进行控制也超出了我们的技术能力。

为了对我们目前的文明进行描述，天文学家卡尔·萨根提出在各类文明之间设置更具体的等级。我们已经看到，I、II、III类文明各自的能量产出大致是10^{16}、10^{26}和10^{36}瓦。他提出，比方说，可以分出一个I．1类文明，它的能量产出量是10^{17}瓦，一个I．2类文明，它的能量产出量是10^{18}瓦，诸如此类。把每种I类文明分为10个子类，我们就可以把我们自己的文明归类了。在这个尺度上，我们当今的文明多半像是个0.7类文明——真正的行星文明已经在我们的“射程之内”了。（0.7类文明在能量生产方面仍然只有I类文明的千分之一。）

虽然我们的文明仍然相当原始，但我们已经可以看到，向I类文明过渡正在我们眼皮底下发生。当我注目报纸头条的时候，我时刻注意到这种历史过渡正在进行之中。事实上，我觉得能够亲历这一过程真是三生有幸：

- 因特网是一种正在崛起的I类文明电话系统，它有能力成为无所不能的全球通讯网络的基础。
- I类文明社会的经济将不是由国家主宰，而是由像欧盟那样的大型贸易集团主宰，它是因为与NAFTA（北美国家自由贸易协议）竞争而形成的。
- 英语有可能成为我们这个I类文明社会的通用语言，它现在已经是地球上的第二大语言了。今天在许多第三世界国家，上层阶级和受过大专教育的人往往既讲英语也讲本地语。I类文明的全部人口可能就像这样，都讲双语，一种本地语，一种全球通用语。[21]
- 国家虽然可能还会以某种形式继续存在几个世纪，但随着贸易壁垒的倒塌，整个世界在经济上的相互依存度加强，国家的重要性会降低。（现代的国家部分地来说是被资本主义者以及那些希望有统一货币、国界、税收法律以便从事经济活动的人划分出来的。随着经济活动本身越来越国际化，国家边界的重要性照理会降低。）没有任何一个单独的国家能够强大到足以阻止这一迈向I类文明的进程。
- 我们也许将永远不会没有战争，但随着全球中产阶级的出现，人们更感兴趣的是旅游和积累财富及资源，而不是压制其他国家的人民、控制市场和地理区域，因此战争的性质会改变。
- 污染问题将越来越多地放在全球层面上来解决。温室气体、酸雨、热带雨林失火等灾害不会尊重任何国家的边界，邻近国家会对主犯国施加压力，要求它约束自己的行为。由于全球环境问题的存在，这将促进加速找到全球解决方案。

- 由于过度开发和消费，资源渐渐枯竭（例如鱼类和粮食的收获量、水资源），会有越来越大的压力要求在全球层面上对资源进行管理，否则就要面临饥荒和崩溃。
- 信息将几乎成为免费的，促使社会大幅度提高民主程度，让没有说话权力的人获得新的发言权，给专制制度施加压力。

所有这些力量都不是任何单独个人或国家能够左右的。因特网是无法被封杀的。事实上，任何想要封杀因特网的措施只会招致更多的嘲笑，而不是恐惧，因为因特网是通向经济繁荣、科学进步以及文化娱乐的道路。

但是从0类文明向I类文明的过渡也是最艰险的，因为我们身上还带着从森林中崛起时就有的野性。从某种意义上来说，我们文明的进步就是一种与时间赛跑的过程。一方面，走向I类全球文明将给我们带来前所未有的和平和繁荣。另一方面，熵的力量（温室效应、污染、核战争、原教旨主义、疾病）仍有可能将我们毁灭。马丁·里斯爵士把这些威胁，以及由于恐怖主义、生物工程开发出来的微生物和其他由技术进步带来的噩梦造成的威胁看做是人类面临的最大挑战。他指出，我们成功解决这些问题的几率只有50%，这毫无疑问是一剂清醒剂。

这也许是我们为什么不能从太空中看到地外文明的原因之一。如果它们确实存在，那么也许它们太先进了，很难对我们这种0.7类文明的社会产生兴趣。也有一种可能，也许它们已在战争中毁灭，或在迈向I类文明的过程中被自己造成的污染所灭绝。（从这个意义来说，现在活着的这一代人也许是所有在地球表面行走过的人中最重要的一代；我们能不能安全地过渡到I类文明很可能要取决于这代人。）

但是正如弗里德里希·尼采（Friedrich Nietzsche）曾经说过的那样，如果能够大难不死，那我们就会变得更强大。我们从0类向I类文明的艰难过渡必将是一次火的考验，要经历几个命悬一线的回合。但如果我们能够从这一挑战中挺住，我们将会以更强大的形象崛起，正如锤打熔化的钢只是使它得到了锻炼。



I类文明

当达到了I类文明以后，还不大可能立刻奔向恒星；更有可能的是继续在本土行星生活几个世纪，要有足够长的时间来解决过去遗留下来的民族主义、原教旨主义、种族及宗派的热情。科幻作家们经常低估宇宙航行和宇宙殖民的难度。今天，要把任何东西放上近地轨道，每磅（0.4536千克）重量的费用是10000到40000美元。（要能想象出太空旅行有多么昂贵，可以想象一下用实心的金子打造一个约翰·格林需要多少钱。）每次发射航天飞机的费用在8亿美元以上（按把航天飞机计划的全部成本除以发射次数算）。太空旅行的费用有可能会降低，但在今后几十年中也只能降低十分之一，这要等有了在一次发射完成之后可以立刻再用的可重复使用运载火箭（RLVs）问世以后。在整个21世纪，太空旅行除了对最有钱的个人及国家来说，将始终是个昂贵得高不可攀的话题。

（这方面可能会有一个例外：开发出“太空电梯”。由于最近在纳米技术方面的进步，已经有可能制造出由超强超轻碳纳米管纺成的线。从原理上来讲，这些碳原子线将有足够的强度将位于离地球20000英里〔32187千米〕处的轨道上的地球同步卫星连接在地面上。如同《杰克与魔豆》〔*Jack and the Beanstalk*〕中所描写的那样，你花费通常价格的一个零头就可以沿着这根碳纳米管做成的缆线到达外太空。历史上，太空科学家否定过太空电梯的想法，因为任何已知的纤维都经受不住这种缆线上的拉力。然而，碳纳米技术可能会改变这种状况。NASA已经出资对这种技术进行初步研究，今后将密切分析其进展情况。但是，即便这种技术被证明是可行的，太空电梯最多也只是把我们带到围绕地球的轨道，而不能到达其他行星。）

宇宙殖民的梦想必须降温，因为通往月球和其他行星的载人航行将比近地航行贵许多倍。与几个世纪前哥伦布和早期西班牙探险家在地球上所做的航行不同，那时一艘帆船的费用只是西班牙国内生产总值中很小的一个零头，而其潜在的经济回报非常巨大；但要在月球和火星上建立殖民地会使多数国家破产，同时几乎不会带来任何直接的经济效益。向火星进行一次简单的载人航行，其费用少说1000亿美元，多说5000亿美元，却很难说能有什么经济上的收获。

同样，还必须考虑人类乘员所面临的危险。半个世纪以来的液体燃料火箭经验表明，火箭发射中灾难性失败的几率大约为每70次中有一次（事实上，这个比值中还包括了两次航天飞机惨剧）。我们经常忘记，太空旅行与旅游是不同的。装载着这么多挥发性燃料，人类的生命面临着这么多致命威胁，未来几十年中太空旅行将继续是个冒险的话题。

然而从几个世纪的尺度上来讲，这种局面可能会逐渐发生变化。随着太空旅行的成本持续缓慢下降，火星上也许会逐步建立几个太空殖民地。以这种时间尺度而论，有些科学家甚至创造性地提出了一些机制，来把火星改造得像地球一样，例如令一颗彗星改道，使之在大气中蒸发，从而在大气中增加水蒸气。另外一些人提出在大气中注入甲烷，以便在这颗红色星球上人为创造出温室效应，提高温度，逐渐融化火星表面以下的永冻土，几十亿年以来第一次在火星的湖泊和溪流中灌进水。有些人还提出了采用一些更为极端和危险的措施的可能性，例如在冰盖下引爆一枚核弹头，把冰融化（这将对未来的太空殖民者造成健康危害）。但这些设想仍然过于异想天开。

更为可能的情况是，在最近的几个世纪中I类文明将把太空殖民作为一种遥远的选项。但是对于在时间上要求并不很高的远距离行星际航行来说，开发一种太阳能/离子发动机可能为星际间航行提供一种新形式的推动力。这种慢速发动机提供的推进力不大，但一次可使这种推进力维持好几年。这种发动机把来自太阳的太阳能集中起来，把一种像铯这类的气体加热，然后从排气管中把这种气体喷出，提供一种几乎可以无限期维持的适度推进力。由这种发动机提供动力的运载工具说不定可以很理想地在行星际间建立一个连接各颗行星的“州际公路系统”。

最终，I类文明说不定可以向邻近的恒星发射几个实验性的探测器。由于化学燃料火箭的速度最终受到火箭排气管中气体的最大速度所限，如果物理学家们想要达到几百光年远的地方，就必须找到更奇特形式的推动力。其中一个可能的设计，就是创造一种聚变冲压喷气发动机（ram-jet），这是一种从星际空间收集氢，然后把它聚变，在此过程中无止境地释放能量的方法。然而，质子质子聚变即使在地球上也很难做到，更不要说是在外太空中的一艘星际飞船上了。这样的技术至少也要等到一个世纪以后的未来。



II类文明

能够运用整个恒星能量的II类文明，可能会像《星际迷航》（*Star Trek*）连续剧中的那种行星联邦，只是没有那种“曲速引擎”（warp drive）。它们已经在银河系中的一小块区域进行殖民，能够点燃恒星，因此够得上一个新兴的II类文明地位。

为了充分利用太阳的输出能量，物理学家弗里曼·戴森（Freeman Dyson）猜测说，II类文明可能会建造一个硕大无比的球体围绕着太阳转，以便吸收它的光线。例如，这一文明将能够把一个木星大小的行星解体，把它的质量配置在一个围绕太阳转的球体中。由于热力学第二定律，这个球体最终会热起来，发射出特有的红外线，从外太空可以看得到。位于日本的文明研究所的寿岳润（Jun Jugaku）和他的同事们对远达80光年的天空进行了搜索，试图找到其他这种类似的文明，但是没有找到这种红外线发射（尽管我们记得我们银河系的直径有100000光年）。

II类文明有可能对在它们太阳系中的一些行星进行殖民，甚至有可能启动一个计划来开发恒星际旅行。由于II类文明能够掌握的资源非常多，它最终有可能开发出一些奇异形式的推进力，例如为它们的星际飞船装上反物质/物质推进器，使接近光速的航行成为可能。从理论上来讲，这种形式的能量具有100%的能源效率。在I类文明的水平上，这在实验中也是可以做到的，只是昂贵得令人却步（需要动用原子击破器来创造反质子束，用以制造反原子）。

对于II类文明社会将会怎样运转，我们只能猜测。然而，它们将有几千年的时间来把财产、资源和权力方面的争端梳理清楚。II类文明有可能永不消逝。有可能，科学已知的任何东西都不能毁灭这种文明，唯一的可能，或许是其居民自己做出了疯狂的举动。彗星和陨星将被改道；气候格局被改变，避免了冰河期；甚至在受到邻近的超新星爆炸威胁时，也只需放弃自己的本土行星，把整个文明迁移出伤害范围之外就可以了——乃至有可能对垂死恒星的热核反应机制进行修改。



III类文明

当一个社会达到III类文明的水平时，由于有了令人难以置信的能量，它有可能开始考虑空间时间变得不稳定的问题。我们知道普朗克能量，在这种能量水平上，量子效应起主导作用，空间时间变成“泡沫”状，充满了泡泡和虫洞。普朗克能量如今还远在我们的能力范围之外，但这只是因为我们是从0.7类文明的视角来对能量进行评判的。到了III类文明的时候，它所拥有的能源将比当今地球上能找到的多几百亿的几百亿倍（或者说10^{20}倍）。

伦敦大学学院（University College）的天文学家伊恩·克罗福德（Ian Crawford）在谈到III类文明的时候写道：“假定典型的殖民范围为10光年，飞船的速度为光速的10%，建立一个星际殖民地以及由这个殖民地派生出的殖民地之间有400年的时间间隔，那么殖民化的波阵面将以每年0.02光年的速度扩张。由于我们银河系的直径为100000光年，在大约不超过500万年的时间里，整个银河系就被殖民化了。这虽然对人类来说是个很长的时间，但它只是星系年龄的0.05%。”

科学家们已经认真尝试过探测我们自己银河系中III类文明的射电源。位于波多黎各的巨型阿雷西博（Aricebo）射电望远镜已经对银河系的大部分区域进行过扫描，寻找接近氢气发射谱线的1.42千兆赫（gigaherz）射电源。在那个频带中，他们没有发现任何辐射出10^{18}至10^{30}瓦能量（即I．2类到II．4类）的文明。然而，这并不排除有一些文明刚好超过我们的技术水平，处于0.8至I．1类之间，或比我们先进得多，例如在II．5类以上。

它也不排除其他通讯方式。例如，先进的文明也可能通过激光，而不是无线电来发射信号。如果它们采用无线电的话，它们采用的频率也可能不是1.42千兆赫。例如，它们有可能把信号散布在许多频率上，然后在接收端重新组合。这样的话，过路的恒星或彗星就不会对整个信息造成干扰。任何接收到这种分散信号的人所听到的可能只是杂音。（我们自己的电子邮件也是分解成许多片断的，每个片断都通过一个不同的城市发出，最后重新组合起来到达你的个人电脑。与此类似，先进文明有可能决定把信号分解，然后在另一端把它重新组合。）

如果宇宙中存在着III类文明，那么它们迫切关心的事情之一就是要建立一个连接整个星系的通讯系统。这当然取决于它们是否能够通过某种方式掌握了高于光速的技术，例如通过虫洞。假定它们还不能够，那么它们的发展会受到相当大的阻碍。物理学家弗里曼·戴森在援引让马克·列维勒布朗（Jean-Marc Levy-Leblond）的著作时猜测，这样的社会可

能生活在一个“卡罗尔式”的宇宙中，这是以刘易斯·卡罗尔（Lewis Carroll）的名字命名的（《爱丽丝梦游仙境》的作者）。他写道，过去，人类社会是以部落为基础的，在那时空间是绝对重要的，而时间只是相对重要。这意味着分散部落之间的通讯是不可能的，在人的一生当中，我们的祖辈只能冒险离开自己的出生地点很短的一段距离。每个部落都被广大的绝对空间阻隔着。随着工业革命的到来，我们进入了牛顿宇宙，在这里空间和时间成为绝对重要的因素，也就是，我们有了船和车，把分散的部落连接为国家。到了20世纪，我们进入了爱因斯坦宇宙，这时空间和时间都变成了相对的，也就是，我们开发出了电报、电话、无线电和电视，可以进行即时通讯。III类文明有可能再度退回到“卡罗尔”宇宙，太空中孤立的殖民点被巨大的恒星际距离阻隔，由于存在光速这一障碍而无法进行沟通。为了避免出现这种分散的卡罗尔宇宙，III类文明可能需要开发虫洞，在亚原子层面上进行高于光速的通讯。



IV类文明

一次我在伦敦天文馆作讲演时，一个10岁小男孩来到我面前，坚持说肯定存在着IV类文明。我提醒他说，因为只有行星、恒星和星系，只有它们才是萌生智慧生命的唯一平台。[22]但他声称，IV类文明可以利用整个空间（continuum）的能量。

我意识到，他说的没错。如果能有IV类文明存在，它的能量可能超出星系，比方说，我们身边看到的暗物质构成了宇宙中物质/能量含量的73%。虽然它有可能是一种巨大的能量储备——宇宙中远为最大的——但这种反引力场散布在宇宙中广大的虚空地带，因此在空间中的任何一个点上都是极度微弱的。

尼古拉·特斯拉（Nikola Teslas）是个电气天才，也是托马斯·爱迪生（Thomas Edison）的竞争对手，曾写过大量的文章论述如何利用真空能量。他相信真空中蕴藏着难以计数的能量资源。他认为，如果我们能有办法开启这一看不见的能量，那它就会引起整个人类社会的革命性变化。然而，要想利用这种神奇的能量是极端困难的。就如要在海洋中寻找金子。海洋中分布的金子，可能比诺克斯堡（Fort Knox，美国国家黄金储藏地）以及世界上所有其他金库中的黄金还要多。然而，要在如此广袤的区域中采掘这种黄金，其费用高到令人望而生畏。因此，躺在海底的黄金从来没有人去采掘过。

与此一样，暗物质中隐藏的能量超过了恒星和星系的全部能量总量。然而它散布在几十亿光年的区域中，难以集中起来。但是，根据物理学定律，我们还是可以想象，先进的III类文明在耗尽了星系中恒星的能量之后，可能会想出办法来开采这种能源，从而过渡到IV类文明。



信息分类

以新技术为基础，可以对这种分类进一步细化。卡尔达舍夫（Kardashev）是在20世纪60年代第一次写出这一分类的，那时计算机微型化进程还没有开始，纳米技术还没有取得进步，还没有意识到环境恶化问题。根据这些新发展，先进的文明可以以一种稍微不同的方式进步，对我们今天经历的这种信息革命加以充分利用。

由于先进文明是以几何级数般的速度发展的，所产生的巨量废热会把行星的温度提高到危险的程度，造成气候问题。皮氏培养皿中的细菌菌落会以几何级数增长，直至耗尽食物来源，毫不夸张地淹死在它们自己排出的废物中。与此类似，由于太空旅行在未来几个世纪仍将昂贵到令人望而却步，要想对附近的行星进行地球化改造，即使可能的话，也将是一场艰巨的经济和科学挑战，一个演进中的I类文明要么淹死在自己的废热中，要么把它的信息产品微缩化和简约化。

要了解这种微缩化的效率，想一想人类的大脑：它包含了大约1000亿个神经元（与可见宇宙中星系的数量一样多），却几乎不产生任何热量。大脑显然可以毫不费力地进行每秒百万之四次方（10^{24}）比特的运行，以此类比，如果我们今天的计算机工程师也要设计出有这种能力的电子计算机的话，它可能就要像几个街区那样大，而且还需要有一座水库的水来给它冷却降温。然而我们的大脑可以进行最为深邃的思索，而不会出一滴汗。

大脑能够做到这一点，得益于它的分子和细胞结构。首先，它根本不是个计算机（也就是标准意义上的图灵〔Turing〕机，有输入磁带，输出磁带以及一个中央处理器）。大脑没有操作系统，没有Windows（视窗操作系统），没有CPU（中央处理器），没有奔腾芯片，没有这些通常与计算机相联系的东西。与之相反，它是一个高效的“神经网络”，是个学习机器，记忆和思维模式分布在整个大脑中，而不是集中在一个中央处理器中。大脑的计算速度甚至并不十分快，因为沿神经元传达的电信号是化学性质的。但由于它能够进行多重处理，并能够以天文数字般的高速度对新任务进行学习，因此弥补了这些不足，而且绰绰有余。

为了对电子计算机的粗笨效率进行改进，科学家正试图采用一些新颖的想法，许多都取法大自然，从而建造出下一代的微缩计算机。普林斯顿大学的科学家们已经能够在DNA分子上进行计算了（把DNA作为一段计算机磁带，其基础不是二进制的0和1，而是四种核苷酸：A[腺嘌呤]、T[胸腺嘧啶]、C[胞嘧啶]和G[鸟嘌呤]）；他们的DNA计算机解出

了包括几座城市之间的“货郎担问题”（也就是计算出连接N座城市的最短路径的问题）。同样，分子晶体管也已在实验室中建成，甚至连第一个原始的量子计算机（可以以一个个原子为基础进行计算）也已经建成了。

鉴于纳米技术方面的进步，可以想象，先进的文明会找到比这远为更高效的方法进行发展，而不是制造出巨大的废热，危及它们的生存。



A至Z类

卡尔·萨根（Carl Sagan）提出了另一种方法，按照它们的信息容量对先进文明进行排序，这些信息对于任何试图离开这个宇宙的文明都是必不可缺的。例如，A类文明能够处理10^6比特的信息。这对应于没有书面文字，只有口头语言的原始文明。为了理解A类文明中含有多少信息，萨根以一个叫做“二十个问题”的游戏为例。在这个游戏中，你可以问20个只能以“是”或“否”来回答的问题，从而辨认出一种神秘的东西。其中一种做法是，问一些可以把世界分为两大类的问题，例如，“它是活的吗？”问过20个这样的问题以后，我们就已经把世界分成了2^{20}份，或者说10^6份，而这就是一个A类文明所包含的全部信息。

一旦发明了书面文字，全部信息量就开始迅速爆炸。麻省理工学院的物理学家菲利普·莫里森（Phillip Morrison）估计，古希腊时代全部遗存下来的书面遗产大约为10^9比特，或者相当于萨根排序中的C类文明。

萨根对我们当今的信息含量进行了估计。通过对全世界所有图书馆的藏书数量（数以千万计），以及每本书的页数进行估计，他的结论是有10^{13}比特的信息。如果把照片包括进去的话，这个数量可以达到10^{15}比特。如果这样的话，那我们就是一个H类文明。由于我们的能量和信息产出量低，我们可以被归类为0.7H类文明。

他预测，我们第一次接触到的地外文明至少将属于1.5J或1.8K类文明，因为它们已经掌握了恒星星际旅行的动力学。这样的文明最低限度也要比我们的先进几个世纪到几千年。同样，一个星系级的III类文明的标志，将是每颗行星上的信息容量乘以该星系中能够支持生命的行星的数量。他估计，这样一个III类文明应属于Q类。他预测，一个能够掌控十亿个星系，也就是可见宇宙的大部分信息容量的先进文明可以够得上Z类文明。

这不是一项可有可无的学术演算。任何即将离开这个宇宙的文明都必将计算宇宙另一边的条件。爱因斯坦方程是出了名的困难，因为要计算出任何一个点上的空间曲度，你必须知道宇宙中所有物体的位置，每一个物体都影响到空间的曲度。你还必须知道对黑洞的量子修正值，而这在目前还是无法计算的。由于这项工作的难度大大超出了我们计算机的能力，现今的物理学家通常是研究只含有一个已经坍塌的恒星的宇宙，来对黑洞进行近似计算。要对黑洞的事件穹界之内或靠近虫洞洞口处的动力学有一个更为接近实际的理解，我们必须知道所有邻近恒星的位置和能量，并对量子涨落进行计算。这又是困难到了令人生畏的事情。要解开一个处在空寂宇宙中单独一颗恒星的方程已然十分困难，更

不要说漂浮在已膨胀的宇宙中的几十亿个星系了。

这就是为什么任何一个想要进行穿越虫洞之旅的文明必须具备远远超过像我们这种0.7H类文明的计算能力。也许到了IIIQ类文明才能够具备最低限度的能量和信息来认真考虑进行这种跃迁。

同时也可想象得到，智慧生命的分布也可能不限于卡尔达舍夫分类的范围，正如马丁·里斯爵士说的：“不难想象，即使现在生命只存在于地球上，它最终还是会遍布银河系，并超出银河系。所以，生命不会永远都只是宇宙中无关紧要的示踪染色剂，即便它现在是。事实上，我觉得这是个非常吸引人的观点，而且我觉得如果人们能广泛持有这种观点，那将是值得庆幸的。”但是他告诫我们：“如果我们自己把自己断送掉，那我们就毁灭了宇宙真正的潜力。所以，即便我们现在相信，生命是地球所独有的，那也并不意味着生命将永远是宇宙中无关紧要的一部分。”

一个先进的文明准备离开他们的垂死的宇宙时，会做那些方面的考虑呢？它必须要克服一系列大的障碍。



第一步：创立一种万物理论，并对其进行测试

想要离开这个宇宙的文明所遇到的第一个障碍就是要完成一个万物理论。不管它是不是弦理论，我们都必须有一种办法来对爱因斯坦方程做出可靠的量子修正，否则我们的理论就都没有用。幸运的是，由于M理论进展迅速，全球一些最有创造力的头脑都在对这个问题攻关，用不了多久，在几十年中，甚至更短的时间内，我们就将得出结论，它究竟是一个真正的万物理论，还是什么都不是。

一旦找到了万物理论，或叫量子引力理论，我们就需要运用先进的技术对这个理论所能带来的后果进行测试。有几种可能性，包括建造大型原子击破器来制造超粒子，甚至在太空中，或在太阳系范围内各颗行星的卫星上建立巨型引力波探测器。（行星的卫星是相当稳定的，寿命很长，不受侵蚀，没有大气干扰。所以，一个行星际引力波探测系统应能窥探到大爆炸的细节，解决我们在量子引力以及创建新宇宙方面所存有的任何问题。）

一旦找到了一个量子引力理论，而且巨型原子击破器和引力波探测器也证明了它的正确性，那么我们就可以开始回答有关爱因斯坦方程和虫洞的一些至关重要的问题了：

1．虫洞稳定吗？

穿越克尔（Kerr）旋转黑洞时的问题在于，正是你本身的存在扰乱了黑洞；在你通过爱因斯坦-罗森桥，还没有完全穿越它的时候，它就会坍塌。这项稳定性的计算必须根据量子修正重新计算，量子修正可能会使计算结果完全不同。

2．存在发散吗？

当我们从连接两个不同时间区域的可穿越性虫洞通过时，虫洞入口处的辐射会积聚到无穷大，造成灾难性结果。（这是因为，辐射可以穿越虫洞，沿着时间倒流，经过许多年之后再第二次进入虫洞。这一过程可以无穷次地重复，造成无穷大的辐射积聚。但是，如果多世界理论成立的话，那么这个问题就可以解决，辐射每穿越一次虫洞，宇宙就分裂一次，这样就不会有无穷大的辐射积聚。我们要有了万物理论才能解决这一奥妙问题。）

3．我们能够找到大量的负能量吗？

负能量是打开虫洞并使之稳定下来的关键因素，现在已经证明是存在的，但只有很少的数量。我们能够找到足够数量的负能量，打开虫洞并使之稳定下来吗？

如果能找到这些问题的答案，那么先进文明就可以认真考虑如何离开这个宇宙，否则就注定消亡。这有几种可能性。



第二步：找到自然出现的虫洞和白洞

虫洞、维度出入口和宇宙弦可能在外太空中自然存在。在大爆炸的一瞬间，当巨量的能量释放到宇宙中的时候，虫洞和宇宙弦可能就自然形成了。然后，早期宇宙的膨胀可能使这些虫洞扩张到宏观尺度。此外，外太空中也有可能存在奇异的物质或负物质。这将对我们逃离垂死宇宙的努力起到极大的帮助。然而，我们无法保证自然界中确实存在这些物质。从来没有任何人见过这些物质，而且要把所有智慧生命的命运押在这个假设上，风险实在太大。

其次，通过对天空进行扫描，有可能找到“白洞”。爱因斯坦的方程式中有了白洞这个解，时间就可以倒转，物体就会以被黑洞吸进去的同样方式，被从白洞中弹出。白洞也许可以在黑洞的另一端找到，这样，进入黑洞的物质最终会从白洞出来。迄今为止，所有的天文搜索都还没有找到白洞的证据，但是有了下一代建立在太空的探测器以后，它们的存在可能被证实。



第三步：发射探测器穿越黑洞

利用像虫洞这类的黑洞绝对有优越性。我们现在已经发现，宇宙中的黑洞相当多；如果能够解决大量的技术难题，任何先进的文明一定会认真考虑将黑洞作为脱离我们宇宙的逃生舱口。同时，如果穿越黑洞的话，我们就不受不能回到时间机器被创造出来之前的时代的这项约束了。处于克尔环（Kerr ring）中心的虫洞可能把我们的宇宙与很不相同的宇宙连接起来，或连接到同一个宇宙的不同点上。解惑的唯一办法是用探测器进行试验，并用超级计算机计算宇宙中物质的分布情况，计算出穿过虫洞时所需要的对爱因斯坦方程的量子修正。

目前，大多数物理学家相信，穿越黑洞之旅会是致命的。然而，我们对黑洞物理学的理解还只是在初级阶段，还从来没有人对这一猜想进行测试。为了辩明论点，可以假设穿越黑洞之旅是可能的，特别是穿越一个旋转着的克尔黑洞。那么，任何先进文明都会认真考虑对黑洞内部进行探测。

由于穿越黑洞之旅是有去无回的，由于靠近黑洞的地方存在着巨大的危险，先进文明有可能先找一颗邻近的恒星黑洞，首先发射一个探测器来穿越它。在它最终穿过事件穹界并失去一切联系之前，探测器可以发回宝贵的信息。（穿越事件穹界可能相当危险，因为事件穹界周围有强大的辐射场。落入黑洞的光线会发生蓝移，因此在接近中心的时候它们会获得能量。）任何近距离经过事件穹界的探测器必须具备完善的防护罩，以抵御这种强大的辐射场。此外，这还有可能破坏黑洞本身的稳定，使事件穹界变为一个奇点（singularity），从而关闭虫洞。探测器将精确测定事件穹界附近有多少辐射，以及在存在所有这种能量流的情况下，虫洞是否仍然保持稳定。

探测器进入事件穹界之前收集到的数据必须以无线电发射到附近的太空船上，但这就又出现了另一个问题。对于这些太空船上的观察者来说，随着探测器离事件穹界的距离越来越近，它在时间上似乎放慢了。当它进入事件穹界的时候，探测器事实上看起来似乎在时间中冻结了。为了避免这个问题，探测器必须在离开事件穹界一定距离的地方发射其数据，否则无线电信号会红移得非常严重，以致无法辨认它的数据。



第四步：创建一个慢动作的黑洞

一旦通过探测把黑洞事件穹界附近的特性详细调查清楚了以后，下一步可能就要实际建造一个慢动作的黑洞，用它来做试验。III类文明可能会把爱因斯坦论文提示的那些结果再现出来，也就是，黑洞永远不会从尘埃和粒子形成的旋涡中产生。爱因斯坦曾试图证明，聚集在一起的旋转粒子，仅凭它们自己是达不到史瓦西半径的（因此也就不可能形成黑洞）。

旋转的物质本身可能不会收缩成黑洞，但这就开启了一种可能性，让我们可以人为地慢慢向这个旋转中的系统注入新的能量和物质，强制这些物质逐渐在史瓦西半径之内通过。这样，先进文明就可以以可操控的方式操纵黑洞的形成。

例如，我们可以想象，一个III类文明把大小与曼哈顿差不多，但比太阳还要重的中子星围拢起来，让这些死恒星形成旋涡在一起旋转。引力会逐渐把这些恒星拉得越来越近。但正如爱因斯坦已经证明的，它们将永远达不到史瓦西半径。这时，这一先进文明的科学家将小心翼翼地往这个“混合料”中加进新的中子星。这可能就足以打破平衡，造成这团旋涡状的中子物质坍塌到史瓦西半径以内。结果，这个恒星集会坍塌成一个自旋的环，也就是克尔黑洞。通过对各种中子星的速度和半径进行控制，这样一个文明将能够使克尔黑洞按照它所想要的慢动作打开。

再不然，一个先进的文明可能会试着把小型中子星汇集成一个单一不动的物质团，直至它的大小达到3个太阳质量，这大致相当于中子星的钱德拉塞卡尔极限（Chandrasekhar limit）。超过这个极限，这颗星就会因其自身的引力而内向爆裂成一个黑洞。（先进文明必须小心，不使制造黑洞的过程引发一次像超新星一样的爆炸。收缩成黑洞的过程必须非常小心、非常精确地逐步进行。）

当然，不论什么人穿越事件穹界，那都将只能是有去无回，没有其他可能。但对于面临注定灭绝的先进文明来说，有去无回的旅程也许是唯一的选择。然而，当人穿越事件穹界的时候，还有一个辐射问题。跟随我们穿越事件穹界的光束，它们的频率会越来越高，强度也随之变得越来越大。这有可能造成辐射雨，可以对穿过了事件穹界的任何宇航员造成致命伤害。任何先进文明都必然要精确计算这种辐射的程度，以便建造合适的保护罩，防止不被煎熟。

最后，还有一个稳定性问题：克尔环中心的虫洞是否足够稳定，可以完全掉落下去？这个问题的数学解还没有完全弄清楚，因为我们需要

运用量子引力理论才能进行正确的计算。也许，克尔环只有在某些非常严格的条件下才是稳定的，让物质从虫洞中掉落下去。这个问题必须运用量子引力数学并通过对黑洞本身进行试验来小心地解决。

总之，穿越黑洞无疑是一次非常困难和危险的旅程。从理论上来说，在进行了广泛的实验，并对所有的量子修正都做了正确计算以前，不能把它排除。



第五步：创建一个婴宇宙

到现在为止，我们一直假定穿过黑洞是有可能的。现在让我们来做相反的假设，也就是，黑洞太不稳定，充满了致命的辐射，那么人们可能就想走一条更为艰难的道路：建立一个婴宇宙。先进文明能够建立一个通向另一个宇宙的逃生舱口这一概念，引起了像艾伦·古思这样一些物理学家的极大兴趣。由于在膨胀理论中，建立一个假真空是极为关键的一步，古思猜想，某些先进文明是否会建立一个假真空，并在实验室中创造出一个“婴宇宙”。

一开始，建立一个宇宙的想法看似荒诞。因为说到底，正如古思指出的那样，要建立我们这样一个宇宙，你要有10^{89}个光子、10^{89}个电子、10^{89}个正电子、10^{89}个中微子、10^{89}个反中微子、10^{89}个质子和10^{89}个中子。这虽然听起来使人望而生畏，但古思提醒我们，虽然宇宙中的物质/能量含量相当大，但它受到由引力中派生出来的负能量的制衡。全部的净物质/能量可能只有1盎司（28.3495克）那么多。古思谨慎地说：“这难道意味着物理定律真的能允许我们随心所欲地创造一个新宇宙吗？如果我们真的打算照这个方子抓药，我们会立刻遭遇一个恼人的难题：由于一个10^{-26}厘米直径的假真空的质量是1盎司，它的密度就会达到惊人的每立方厘米10^{80}克！……如果整个观察到的宇宙的质量被压缩到假真空的密度，那它的体积会比一个原子还小！”假真空应该是空间时间中很微小的一个区域，那里会发生不稳定，会在空间时间中出现断裂。在假真空中，可能只需要几盎司的物质就可以创造一个婴宇宙，但你必须把这微量的物质以天文数字的程度压缩到极小尺度。

可能还可以有其他办法来创造婴宇宙。你可以把空间的一小块区域加热到10^{29}开氏度（degrees K），然后把它迅速冷却。据推测，在这个温度上，空间时间变得不稳定；微小的泡泡宇宙开始形成，由此创造出一个假真空。这些微小的婴宇宙随时都在产生着，但寿命很短，但在这种温度下则可能会变成真正的宇宙。这一现象在普通电场效应中已经司空见惯。（例如，如果我们创造一个足够大的电场，真空内外不断出现的虚拟电子反电子对会突然变成真实的，使这些粒子一跃而成为现实存在的。这样，空无所有的空间中所集中的能量会把虚拟粒子转化为真实粒子。同样，如果我们对一个单一点施加足够的能量，从理论上来说，虚拟的婴宇宙可能会无中生有，一跃而成为现实存在。）

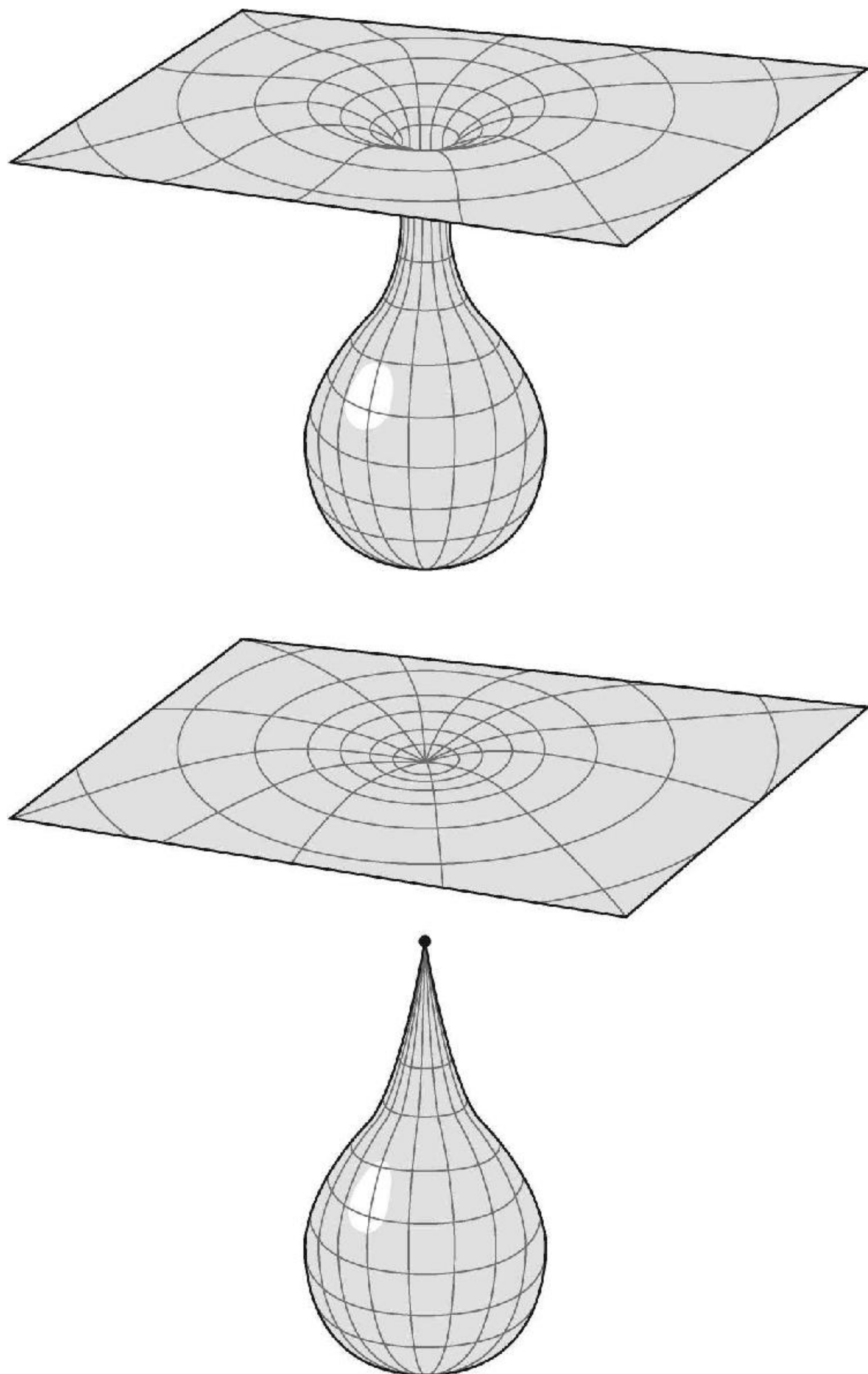


图13　先进文明可能会有若干种方法来人工创建婴宇宙。可以把几盎司的物质聚集到极高的密度和能量水平，或者也可能把物质加热到接近普朗克温度。

假设可以达到这种难以想象的密度或温度，那么婴宇宙的形成过程

可能就会像上面这个样子。在我们的宇宙中，可以用强大的激光束和粒子束把一小点物质压缩和加热到难以置信的能量和温度。我们永远也不会看到婴宇宙开始形成的样子，因为它是在奇点的“另一边”膨胀，不在我们这个宇宙中。这个备用婴宇宙将有可能通过其自己的反引力在超空间中膨胀起来，从我们这个宇宙“萌生”出去。因此，我们将永远看不到在奇点的另一边有一个新宇宙正在形成这一现象。但是虫洞会像脐带一样地把我们与婴宇宙连接起来。

然而，这种在炉子里炮制宇宙的方法存在一定的危险。把我们这个宇宙与婴宇宙连接在一起的这根脐带最终会蒸发，产生出相当于500千吨（kiloton）核爆炸的霍金辐射，大约相当于广岛原子弹能量的25倍。所以，想在炉子里炮制新宇宙是要付出代价的。

这种建立假真空的学说中最后的一个问题是，稍一不慎新宇宙将直接坍缩成一个黑洞，大家还记得，根据我们的假说，这将是致命的。其原因是彭罗斯定理，根据这个定理，在各不相同的许多情景下，足够大量的物质一旦大量集聚，就不可避免地会坍塌为黑洞。由于爱因斯坦的方程具有时间反演不变性（time-reversal invariant），也就是说，可以从时间上向前或向后演算，这意味着，任何从婴宇宙中掉落出去的物质都会在时间上反演，从而造成黑洞。这样，人们在建造婴宇宙时必须非常小心，以避免彭罗斯定理。

彭罗斯定理是基于这样的假设，向下塌落的物质具有正能量（与我们身边熟悉的世界一样）。然而，如果我们有了负能量或负物质，彭罗斯定理就不能成立了。这样，即使是对于膨胀学说，我们也需要获得负能量来创立婴宇宙，如同我们在建造可穿越性虫洞时一样。



第六步：建造巨型原子击破器

在我们可以不受限制地获得高科技的情况下，怎样才能建造一台可以离开我们这一宇宙的机器呢？我们到什么时候才有望掌握普朗克能量呢？达到III类文明的程度时，这个文明从定义上来说就已经拥有了掌握普朗克能量的能力。科学家们应已有能力操控虫洞，并且汇聚起足够的能量在空间和时间中打洞。

先进文明要做这件事，可以有几种办法。正如我在前面提过的，我们的宇宙可能是一片膜，在离开我们1毫米远的超空间中漂浮着许多平行宇宙。如果是这样的话，那么大型强子对撞机（LHC）就可能在最近几年中探测到它们。当我们达到I类文明的时候，我们说不定甚至已经具备了必要的技术，对邻近宇宙的性质进行探索。所以，与平行宇宙进行接触这种观念也可能并不是遥不可及的想法。

但是让我们假设一种最不理想的情况，也就是，能够产生量子引力效应的能量水平确实是普朗克能量，也就是说，它比大型强子对撞机（LHC）的能量大百万之四次方倍（10^{24}倍）。要开发利用普朗克能量，III类文明必须要建立恒星规模的原子击破器。在原子击破器或叫做粒子加速器中，亚原子粒子沿着一个狭窄的管道前进。当向管道中注入能量的时候，粒子被加速到高能量。如果我们用巨型磁体把粒子的路径弯曲成一个巨大的圆，那么粒子可以被加速到几万亿电子伏特的能量。圆的半径越大，粒子束的能量就越大。LHC的直径是27千米，把我们这个0.7类文明所能拥有的能量推到了极限。

但是对于III类文明来说，原子击破器的规模可以制造到太阳系那么大，甚至是一个恒星系那么大。可以想象，先进文明说不定可以把一束亚原子粒子射入外太空，把它们加速到普朗克能量。我们还记得，有了新一代的激光粒子加速器，几十年之内物理学家就将有可能建造出一个桌面加速器，可在1米的距离内达到200GeV（2000亿电子伏特）。把这些桌面加速器一个接一个地叠加在一起，可以想象我们有可能达到使空间时间变得不稳定的能量。

假设未来的加速器只能把粒子加速到每米200GeV这样一个保守的估计，我们将需要一个10光年长的粒子加速器才能达到普朗克能量。虽然这对于I类或II类文明来说是难以想象之大，但对于III类文明来说这是完全做得到的。要建造这样一个庞大的原子击破器，III类文明要么是把粒子束的路径弯曲成一个圆，这样大量地节省空间，要么是让这条路径延伸到远远超过了最近的恒星。

例如，人们可以建造一个原子击破器，沿着位于小行星带以内的一个环形路径发射亚原子粒子。你不必要建造昂贵的圆形管道，因为外太空的真空条件比我们可以在地球上所制造的任何真空都更好。但你必须要建造巨型磁体，按一定的间隔安放在太阳系或其他恒星系中遥远的卫星和小行星上，以便周期性地把粒子束弯曲。

当粒子束到达一颗卫星或小行星时，设在那上面的巨型磁体将把粒子束的方向稍稍拽偏。（月球站或小行星站还必须在一定间隔上把粒子束重新聚焦，因为随着粒子束走得越来越远，它将逐渐发散分叉。）当粒子束越过几颗卫星（moons）之后，它将逐渐形成一个弧形。最终这个粒子束会以一个近似圆形行进。我们还可以想象有两个粒子束，一个沿太阳系顺时针转，另一个沿太阳系逆时针转。当两个粒子束相撞时，物质/反物质碰撞释放出的能量达到接近普朗克能量。（可以算得出来，要把这种强大的粒子束弯曲，所需要的磁场强度远远超过了我们今天的技术。然而，可以想象，先进文明可能会使用爆炸物，把强大的能量冲击波送入线圈，产生出巨大的磁脉冲。这种巨大的爆发性的磁场能量只能释放一次，因为它很有可能把线圈毁坏掉。所以，在粒子束下次经过之前必须快速更换磁体。）

建造这样一个原子击破器，除了有令人生畏的工程难题外，还有一个微妙的问题，也就是，粒子束的能量有没有极限。任何强大的粒子束最终都会撞上那些构成2.7度（K）背景辐射的光子，从而造成能量流失。从理论上来说，由于粒子束的这种能量流失，在外太空所能得到的能量最终会有一个事实上的上限。这个结论现在还没有得到实验证实。（事实上，有一些迹象表明，高能宇宙射线的影响已经超过了这一最大能量值，给全部这一计算打上了问号。）如果这一点是正确的，那么就要对这种装置进行代价更为高昂的修改。首先，要把整个粒子束封装在带有保护罩的真空管道中，把2.7度背景辐射挡在外面。或者，如果在遥远的未来能做一次试验的话，证明背景辐射实际上不大，因此无关紧要。



第七步：创建内向聚爆机制

还可以想象第二种装置，它以激光束和一种内向聚爆机制为基础。在自然界中，巨大的温度和压力是通过内爆方式获得的，也就是，垂死的恒星在引力作用下突然坍塌。这是可能的，因为引力只向内吸，不向外推，因此坍塌的过程是均匀的，最终把恒星均匀地压缩成难以置信的密度。

这种内爆方式在地球上是非常难以再现的。例如，氢弹必须设计得像一块瑞士手表，这样才能把氢弹中的活性组分氘化锂压缩到几千万度，达到劳森判据（Lawson's criteria），引发聚变过程。（其做法是，引爆氘化锂旁边的原子弹，然后把X射线均匀地聚集在一块氘化锂的表面。）然而这个工艺只能以爆发形式释放能量，而不能对其加以控制。

在地球上，利用磁力压缩富氢气体的尝试失败了，主要是因为磁力不能均匀地压缩气体。由于我们还从来没有在自然界看到磁单极子，磁场都是像地球磁场那样，是偶极的，所以它们是惊人地不均匀。要用它们来挤压气体，就如同想要挤压气球一般。只要我们挤压一头，另一头就鼓起来。

另一种控制聚变的方法，有可能是利用一组激光束，把它们排列在一个球面上，这样，激光束放射状地发射到位于中心的氘化锂小球上。例如，在利弗莫尔（Livermore）国家实验室有一个用于模拟核武器的强大的激光/聚变装置。它沿着一个管道平射出一系列的激光束。然后，设在管道尾端的反射镜精密地反射每个光束，把它们呈放射状地指向一个微小的球体。小球体的表面立即蒸发，使它发生内爆，产生巨大的温度。以这种方式，聚变实际是在小球体的内部发生的（只是，机器消耗的能量比它创造出来的还要大，因此不具备商业价值）。

同样，我们可以想象III类文明会在多个恒星系统中的小行星和卫星上建造大型激光光束库。然后把这些激光聚合同时发射，释放出一系列强大的光束，聚集于一个点上，创造出使空间和时间变得不稳定的温度。

原则上来说，可以在激光束上加载的能量是没有理论极限的。然而，要创造出极高强度的激光存在着一些操作困难。其中一个主要问题是激光材料的稳定性，它经常会过热，在高能量的时候破裂。（这可以补救，可以用像核引爆那样的一次性爆炸方式驱动激光束。）

发射这种球面激光集束（spherical bank of laser beams）的目的是

加热一个舱室，在里面创建一个假真空，或产生内爆并压缩一组板，通过卡西米尔（Casimir）效应创造负能量。要建造这样一个负能量装置，需要压缩一套安排在10^{-33}厘米普朗克距离之内的球形板（spherical plates）。由于原子之间隔开的距离为10^{-8}厘米，在核子之内隔开质子和中子的距离是10^{-13}厘米，可以看出，这些板压缩得非常厉害。由于在激光束上可以聚集的总瓦数本质上是无限的，那么主要的问题就是建造合适的装置，它要具备足够的稳定性，抵御得住这种巨大的挤压。（由于卡西米尔效应在板与板之间产生净吸引，我们还需要在板上加上电荷，以免它们坍塌。）从原则上来说，球形壳中会形成一个虫洞，它把一个年轻得多、热得多的宇宙与我们垂死的宇宙连接在一起。



第八步：建造一架曲速引擎机

要组建上面描述的那些装置，一个关键要素，是要有能力进行穿越广袤恒星际距离的旅行。要实现这个目的，一种可能性就是使用阿尔库维雷（Alcubierre）曲速引擎机，它是1994年由物理学家米格尔·阿尔库维雷（Miguel　Alcubierre）首先提出的。曲速引擎机不是通过在空间中打一个洞，而是改变空间的拓扑结构，然后跃进超空间。它只使你面前的空间缩短，同时把你背后的空间扩大。想象穿过一块地毯走向桌子的情形。如果不从地毯上走过去的话，我们还可以把地毯在我们面前卷起来，一点一点地把桌子拽到我们面前来。这样，我们自己基本没动地方，但我们面前的空间缩短了。

我们知道，空间本身扩展的速度比光速还要快（因为扩展中的真空空间没有传送过任何净信息）。与此同理，通过使空间收缩的方法以比光速更快的速度旅行应该是有可能的。从效果上来看，当我们向邻近的恒星旅行的时候，我们可能基本不用离开地球；我们只须使我们面前的空间坍塌，并使我们身后的空间扩张就行了。要去离我们最近的恒星半人马阿尔法星，我们不是旅行到那里，而是使它来到我们面前。

阿尔库维雷证实，这是爱因斯坦方程的一个可行的解，也就是说，它在物理定律允许的范围内。但这不是无偿的。我们必须能够运用大量的负能量和正能量来驱动恒星际飞船。（可以用正能量来压缩你面前的空间，用负能量来延长你身后空间的距离。）要用卡西米尔效应来生产这种负能量，板之间必须间隔着普朗克距离，即10^{-33}厘米，这通过一般手段是无法达到的。要建造这样一艘恒星际飞船，需要建造一个大的球体，把乘员放在里面。在这个大泡泡的边壁上，沿着它的赤道线可以安排一圈负能源。大泡泡中的乘员实际上始终没有动地方，但泡泡面前的空间会以超光速收缩，所以，当乘员从泡泡中出来的时候，他们已经到达了邻近的恒星。

阿尔库维雷在他原来的文章中提到，他的这一办法不仅可以把我们带到其他恒星，它还有可能在时间中旅行。两年以后，物理学家艾伦·E．埃弗里特（Allen　E．Everett）证明，如果有两艘这样的星际飞船的话，通过连续应用曲速引擎就有可能实现时间旅行。正如普林斯顿大学物理学家戈特（Gott）所说：“如果是这样的话，那么《星际迷航》的创作者吉恩·罗登贝里（Gene　Roddenberry）写了那么多有关时间旅行的章节看起来的确没有错！”

但是，后来俄罗斯物理学家谢尔盖·克拉斯尼科夫（Sergei　Krasnikov）所做的分析揭示出，这个方法中有一个技术缺陷。他提出，

星际飞船的内部与飞船外的空间是断开的，所以信息无法穿越这之间的界限，即，一旦到了飞船里面，你就无法改变星际飞船的航向。它的航向必须在出发之前规定好。这是令人失望的。换句话说，你绝对不可能转动方向盘，把航向定到最近的恒星。但这并不意味着，这么一艘理论上的星际飞船会变成为像一条通往恒星的铁路，一个星际飞船按照固定间隔出发的恒星际系统。例如，所建造的这条“铁路”可以先用亚光速的常规火箭在恒星之间的固定间隔上建立铁路站点，然后恒星际飞船根据时间表以超光速在这些站点之间往返，出发和抵达的时间都是固定的。

戈特（Gott）写道：“未来的超级文明完全有可能像在恒星之间建立虫洞连接那样，在恒星之间铺设曲速引擎通道，让星际飞船通行。曲速引擎通道网络也许会比虫洞网络更容易建造，因为曲速引擎只需要把现有空间做一些改动，而不是建立新的洞来连接遥远的区域。”

但是，正是由于这种星际飞船必须在现有宇宙中航行，所以不能用它来离开宇宙。不过阿尔库维雷引擎有可能帮助建造一个逃离宇宙的装置。比如，这种星际飞船可以在创造戈特所提到的那些碰撞中的宇宙弦的过程中派上用场，它可以把先进文明带回自己的过去，带回宇宙还远比当前温暖的时代。



第九步：利用来自压缩态的负能量

在第5章中，我提到激光束可以创造出“压缩态”，这可以用来产生负物质，负物质又可以用来开启和稳定虫洞。当一束强大的激光脉冲打到一个特殊光学材料上时，它会在它的尾迹中产生出许多的光子对。这些光子轮番加强和抑制真空中的量子涨落，释放出正能量和负能量脉冲。这两种能量脉冲的总和平均下来，永远都是正能量，这样我们就不会违反已知的物理学定律。

1978年，塔夫斯大学物理学家劳伦斯·福特（Lawrence Ford）证实了这种负能量必然遵循的三项法则，从那以后，它们就成了大力研究的课题。首先，福特发现脉冲中负能量的总量与它的空间和时间范围成反比，即，负能量脉冲越强，它的续存期限就越短。所以，如果我们用激光器制造出一束强大的负能量爆发来打开虫洞，它只能持续极短的一段时间。第二，负能量脉冲后面永远跟着一个更大数量级的正能量脉冲（所以它们的总和保持为正的）。第三，这两个脉冲之间的时间间隔越长，正脉冲必然会更大。

在这些普通法则之下，人们可以量化测定激光或卡西米尔板产生负能量所需要的条件。首先，可以尝试向一个盒子内照射激光束，由一个快门在负能量脉冲进来之后立刻关闭，把负能量脉冲和尾随而来的正能量脉冲分隔开。这样，只让负能量脉冲进入盒子。这种方法原则上可以获得巨量的负能量，尾随着更大的正能量脉冲（被快门挡在盒子之外）。两个脉冲之间的间隔会相当长，正脉冲的能量有多大，间隔就会有多长。从理论上来讲，这看来是个理想的为时间机器或虫洞生产无限量的负能量的办法。

不幸的是，这里有个问题。每次关闭快门的行为都会在盒子里面产生出第二个正能量脉冲。除非采取非常谨慎的措施，否则负能量就会被彻底消除掉。这一技术壮举还要留给先进文明来解决——把强大的负能量脉冲与尾随其后的正能量脉冲断开，而不产生第二个脉冲把负能量完全抵消。

这三项法则可以应用到卡西米尔效应。如果我们建立一个1米大小的虫洞，我们必须把负能量集中在一个小于10^{-22}米的频带（band）中（一个质子的百万分之一大）。这也只有极为先进的文明才能有能力创造出必要的技术，在难以置信的微小距离上，或在难以置信的微小时间间隔上进行操作。



第十步：等待量子跃迁

我们在上一章已经看到，智慧生命在宇宙逐渐变冷的时候，可能不得不放慢思维速度，并长时期蛰伏。这一放缓思维速度的过程可能会持续几万亿个几万亿年，长到足以发生量子事件。一般情况下，我们可以排除在建立泡泡宇宙的同时跃迁到其他量子宇宙的想法，因为它们只能是极为罕见的事件。然而，在第五阶段，智慧生命的思维可能变得非常之慢，以至于量子事件相对变为寻常事件。在他们的“主观时间”里，他们的思维速度可能在他们看来是完全正常的，哪怕实际的时间尺度已经变得如此之长，连量子事件也变成正常现象了。

如果是这样的话，这种生命体只须等待虫洞出现和量子跃迁发生，这样就可以逃入另一个宇宙。（虽然这些生命体有可能像家常便饭般地经常看到量子跃迁，但有一个问题是，这些量子事件是完全不可预知的；如果不能准确地知道出入口何时打开或通往何处，要想迁徙到另一个宇宙就很困难。这些生命体也许不得不在虫洞打开的时候，抓住机会离开这个宇宙，来不及充分分析这个虫洞的种种性状。）



第十一步：最后的希望

现在，让我们假设，未来对虫洞和黑洞要做的实验都面临一个看来无法逾越的难题，那就是，稳定的虫洞只存在于显微镜下可见的尺寸至亚原子尺寸之间。假设实际的穿越虫洞之旅对我们的身体造成的压力，即使我们身处带保护的乘具中也无法接受。如高强度的潮汐力、辐射场、迎面坠落的碎片等等，任何几样这类挑战都会置人于死地。如果确实是这样的话，我们这一宇宙中的未来智慧生命可能就只剩下最后一项选择了：向新的宇宙中注入足够的信息，从而在虫洞的另一边再造我们的文明。

在自然界中，当生命机体面临敌对环境，它们有时会产生出绝妙的生存方法。有些哺乳动物会冬眠。有些鱼类和蛙类在体液中循环着像是可以防冻的化学物质，使它们可以被冻结，但仍然活着。菌类通过变为孢子而避免灭绝。同样，人类可能也要找到办法，改变我们的物理实体，以便活着进入另一个宇宙。

我们知道，橡树会向四面八方散布微小的种子。这些种子是这样的：（a）既小又韧又紧凑；（b）它们包含了整棵树的DNA信息；（c）它们的构造适于传播到离开母树一段距离的地方；（d）它们包含了足够的营养，可以在遥远的地方开始再生过程；（e）它们从土壤中吸取养分和能量，在新的地方生根存活。与此类似，一个文明也可以效法自然，利用自现在起几十亿年以后所具备的最先进的纳米技术把所有这些重要的性状复制下来，把它作为“种子”通过虫洞送出去。

正如斯蒂芬·霍金说过的：“看起来……量子理论是允许在微观层面上进行时间旅行的。”如果霍金的说法正确，那么先进文明的成员就可能决定改变他们的物理结构，把碳与硅融合，把意识降解为纯信息，使它成为某种可以在时间倒流的艰难旅程中幸存下来或进入另一个宇宙的东西。说到底，我们这种以碳为基础的身体也许确实太脆弱了，无法承受这种强度的旅程所带来的艰难困苦。在遥远的未来，我们可能会有能力利用先进的DNA工程、纳米技术和机器人技术，把我们的意识与我们创造的机器人结合起来。以今天的标准来看，这听起来可能离奇，但是几百万年乃至几十亿年以后的未来文明也可能发现它是唯一的一条生路。

他们也许需要把他们的大脑和个性直接融入机器中。这可以通过几种办法来做。可以编制能够复制我们所有思维过程的精密复杂的软件程序，使它具备与我们完全一样的个性。更大胆的做法，是卡内基梅隆研究所（Carnegie-Mellon Institute）的汉斯·莫拉韦克（Hans Moravec）提出的计划。他声称，在遥远的未来，我们也许会有能力把我们的大脑

结构，逐个神经元地复制到硅晶体管上去。我们大脑中的每个神经连接都被一个相应的晶体管取代，在机器人体内再现神经元的功能。[23]

由于潮汐力和辐射场有可能非常强烈，所以未来的文明只能携带绝对最少的燃料、防护罩和养分，以便在虫洞的另一边再造我们的种群。利用纳米技术，有可能在一个最宽不超过一个细胞的装置中把微型链条送过虫洞。

如果虫洞非常小，以一个原子的尺度计，则科学家将不得不发送由单个原子做成的大量纳米管，其中编码了大量的足够的信息，足以在虫洞的另一边再造整个种群。如果虫洞只有亚原子粒子那么大，科学家可能要设法把核子送过虫洞，在另一边捕获电子，把自己再造成原子和分子。如果虫洞比亚原子粒子还小，也许可以利用小波长的X射线或伽马射线做成的激光束把复杂的密码通过虫洞送出去，向另一端发出如何再造文明的操作指南。

这种信息传递的目的，是在虫洞的另一端建造一个微型“纳米机器人”，它的任务是找到一个合适的环境再造我们的文明。由于它是在原子尺度上建造的，就不需要巨大的助推火箭或大量的燃料来寻找合适的行星。事实上，它也可能轻而易举地达到光速，因为利用电场很容易把亚原子粒子推进到接近光速。而且它也不需要生命维持系统或其他粗笨的硬件，因为纳米机器人装载的主要内容是再造种族所必需的纯信息。

一旦纳米机器人找到了一个新的行星，它就开始设计和利用新行星上已有的原材料建立一座大型工厂，创造大量的自己的复制品，并开始建造一个大型的克隆实验室。所需的DNA序列可以在这个实验室中生产，然后注入细胞中，开始再造全部有机体乃至全部种群的过程。这些实验室中的细胞然后直接被培养成成年个体，并把原来那个人的记忆和个性放置到它的大脑中。

从某种意义上来说，这一过程如同把我们的DNA（即III类文明或更高级文明的全部信息量）注入一个“卵细胞”，它承载着能够在另一端再造一个胚胎的基因指令。这个“受精卵”紧凑、坚韧又轻便，同时还装有可供再造一个III类文明的全部信息。标准的人类细胞只含有30000个基因，排列在30亿个DNA碱基对上，但这么简洁的一条信息，充分利用精子外面的资源（例如由母体提供的养分）就足以再造整个一个人。同样的，“宇宙卵”也可以由再造一个先进文明所需要的全部信息构成，然后利用另一端的资源（原材料、溶剂、金属等）把这个先进文明再造出来。这样，一个像IIIQ类的先进文明就可以利用他们令人惊叹的技术把足够的信息（大约10^{24}比特的信息）从虫洞送出去，足以在另一端再造他们的文明。

我要强调的是，我所提到的这一过程中的每一步都远远超出了今天的技术能力，给人的感觉肯定是像在读科幻小说。但是在几百万年以后的未来，对于一个面临灭绝的IIIQ类文明来说，这可能是唯一可能的自

救途径。肯定的是，物理学法则或生物学中没有一条会妨碍这种结局的出现。我要说的是，虽然我们的宇宙最终会死去，但它未必意味着智慧生命也随着死去。当然，如果有可能获得把智慧生命从一个宇宙转移到另一个宇宙的能力，那么，其他宇宙中的生命形式在面临它们自己的大冻结时，也同样可能试图打洞逃入我们这个宇宙中某些较温暖、更适合居住的遥远区域。

换句话说，统一场理论不是一种精巧的但是无用的奇思妙想，它有可能最终提供出一张蓝图，使得宇宙中的智慧生命得以延续。

第12章　超越多元宇宙

《圣经》告诉我们的，是如何生活才能去天堂，而不是在天堂如何生活。

——伽利略在受审期间所复述的巴罗尼乌斯红衣主教的话

世界凭什么只能是“有”，而不能是“无”？世界完全有可能并不存在，正如它也完全有可能确实存在一样，这是个悬念，有了这样一个悬念，形而上学思想的钟才永不停摆。

——威廉·詹姆斯（William James）

神秘感是我们所能拥有的最美丽的体验。它是最根本的情感，有了它才能哺育出真正的艺术和真正的科学。无论是谁，如果对它没有认识，不再好奇，不再有惊异，那就与死无异，而他的目光也就暗淡下来了。

——阿尔伯特·爱因斯坦（Albert Einstein）

1863年，托马斯·亨利．赫胥黎（Thomas　H．Huxley）写道：“人类一切问题的问题，隐藏在所有问题背后，而且比它们当中的任何一个都更有趣的这个问题，是确定人在自然界中的位置，以及他与宇宙之间的关系。”

赫胥黎是有名的“达尔文斗士”，他曾与极为保守的维多利亚时代的英国人展开激烈的辩论，维护进化论。对于当时大多数的英国人来说，人类傲然屹立在造化的正中心；不仅太阳系是宇宙的中心，而且人类是上帝创造世界的最高成就，是上帝神圣杰作的巅峰。上帝就是按照他本人的模样创造我们的。

面对宗教势力的万箭齐发，赫胥黎公然挑战这一宗教正统观念，捍卫达尔文理论，从而帮助我们更科学地认识了自己在生命之树中的地位。今天，我们认识到，在科学巨匠当中，牛顿、爱因斯坦和达尔文在帮助确认我们在宇宙中的正确地位方面进行了艰辛的耕耘。

他们为确定人类在宇宙中的角色地位所做的工作，都对神学和哲学造成了冲击，为此他们各自都极力做出了自己的解释。在《原理》一书的结论中，牛顿宣称：“太阳、行星和彗星所构成的最美丽的体系只可能出自于一个智慧和强大的生灵的指引和主导。”如果说，是牛顿发现了运动定律，那么必然有一个神灵的存在，是它制定了这些定律。

爱因斯坦也相信存在着一个他所称的“老家伙”（the Old One），但它并不干预人类事务。他的目标不是颂扬上帝，而是要“读懂上帝的心

思”。他常说：“我想知道上帝是如何创造这个世界的。我所感兴趣的，不是这种现象或那种现象。我想知道上帝的心思。其他都属于细枝末节。”对于自己对这些神学问题的浓厚兴趣，爱因斯坦做出的结论性的解释是：“没有宗教的科学是跛子，但是没有科学的宗教是瞎子。”

但是达尔文对人类在宇宙中的角色问题上则是无可救药的莫衷一是。虽然达尔文是公认的把人类从生物宇宙的中心宝座上拉下来的人，但是他在自己的自传中写道：“要把这个无限绝妙的宇宙，包括人类可以回顾过去以及遥想未来的能力都看成是盲目的偶然或必然结果，是极其困难的，甚至可以说是不可能的。”他曾私下对一个朋友说：“我的神学观点完全是一塌糊涂。”

不幸的是，“确定人类在自然界的地位及其与宇宙的关系”也是充满危险的，尤其对于那些敢于挑战占统治地位的正统思想及僵化教条的人来说更是如此。尼古劳斯·哥白尼在1543年临终之前写下了其开创性著作《天体运行论》（*De Revolutionibus Orbium Coelestium/On the Revolutions of the Celestial Orbs*），这绝不是偶然的，因为这使他得以免受宗教裁判之苦。伽利略虽然受到了美第奇家族中强有力的保护者的长期庇护，但最终还是不可避免地激起了梵蒂冈的震怒，因为他普及了一种仪器：望远镜，它所揭示出来的宇宙与教会的信条截然不同。

科学、宗教和哲学之间的关系错综复杂，的确是一剂烈药，一触即发。伟大的哲学家乔达诺·布鲁诺（Giordano Bruno）由于拒绝放弃自己的信仰，认为上天有无穷数量的行星，蕴藏着无穷数量的生命体，1600年竟被在罗马的街道上绑在火刑柱上烧死。他写道：“这样，上帝的美德才得到弘扬，他的王国的伟大之处才得以昭示；他的荣耀不是因为一颗太阳，而是因为有无数的太阳；不是因为只有一个大地，一个世界，而是因为有千千万万，我要说，有无穷数量的世界。”

伽利略和布鲁诺的罪不在于他们敢于探究上天的法则；他们真正的罪在于他们把人类从我们在宇宙中心至高无上的宝座上拉下来。梵蒂冈过了350多年，直到1992年才向伽利略作了迟来的道歉。对布鲁诺则始终不予道歉。



历史观念

自伽利略以后，一系列的变革颠覆了我们关于宇宙以及我们在其中的角色的看法。中世纪时，宇宙被看做是一个黑暗的禁地。大地像一个小小的平坦的舞台，充满了腐败和罪孽，由一个神秘的天球包围着。像彗星之类的天体被视为天兆，不论是国王还是农夫一律都会惊恐。而且如果我们对上帝和教会赞扬得不够，我们就会惹来剧评家及自以为是的宗教裁判所成员的震怒，任他们那些令人毛骨悚然的迫害工具发威。

牛顿和爱因斯坦把我们从过去的迷信和神秘主义中解放出来。牛顿告诉我们，一切天体，包括我们自己的这个天体，都受到精确的机械法则支配。事实上，这些法则精确到如此地步，以至于人类现在可以如鹦鹉学舌般不假思索地对其加以运用。爱因斯坦使我们对生命大舞台的看法发生了革命性的变化。不仅不可能对时间和空间确定一个一成不变的尺度，就连这个大舞台本身也是有曲度的。这个大舞台不仅被置换成了一张绷紧的橡皮床单，而且它还在膨胀之中。

量子革命告诉了我们一个更加奇异的世界。一方面，决定论的破产意味着，被动的木偶们可以扯断它们的牵线，念诵自己的台词。我们又恢复了自由意志，但其代价是，后果不止一个，而且不确定。这意味着，演员可以同时出现在两个地方，而且可以消失和再出现。要想确切地说出演员在什么时间、位于台上的什么地方已经成为不可能。

现在，多元宇宙的概念又使我们的思维范式发生了变化，因为英文中的“宇宙”（英文中的“宇宙”一词是universe，含有“单一”之意）这个词本身也有可能成为过时。多元宇宙中有许多平行舞台，一个叠置在另一个之上，相互间有活门和暗道连通。事实上，一个舞台派生出另一个舞台，是个永无止境的过程。每个舞台上都会形成新的物理法则。很可能，这些舞台中只有很少几个具备承载生命和意识的条件。

今天，我们是在第一幕中生活的演员，刚刚开始探索这一舞台的宇宙奇观。到第二幕，如果我们还没有因战争或污染而毁灭了自己的行星，我们也许将有能力离开地球，去探索恒星和其他天体。但是我们现在越来越认识到，会有最后一幕，也就是第三幕，戏结束了，所有的演员都消亡了。在第三幕中，舞台变得如此寒冷，生命成为不可能。唯一可能的拯救办法，是通过一个活门彻底离开这个舞台，在一个新的舞台上重新上演一出新戏。



哥白尼原理挑战人择原理

很清楚，从中世纪的神秘主义向今天的量子物理学过渡的过程中，我们在宇宙中的角色和位置随着每一次科学上的革命而发生重大变化。我们的世界在按照几何级数扩张着，迫使我们改变对自己的认识。当我仰望苍穹中似无边际的群星，或思索地球上万千不同的生命形式，对这一历史进程进行审视时，我有时被两种相互矛盾的情绪所左右。一方面，我觉得在宇宙面前自己多么渺小。对无垠空寂的宇宙进行遐想的时候，布莱士·帕斯卡（Blaise Pascal）一次写道："那些无垠的空间中永恒的寂静使我惊恐。"另一方面，色彩缤纷的生命多样性以及我们这一生物精妙复杂的存在使我痴迷。

今天，当我们面临以科学方式确定我们在宇宙中的角色这一问题时，物理学界中存在着两种从某种程度上来说截然相反的哲学观点：一是哥白尼原理，一是人择原理。

哥白尼原理声称，我们在宇宙中所处的地位毫无特别之处。（有些好事者把这称为"平庸原则"。）迄今为止，每一项天文发现似乎都证实了这一观点。不只是哥白尼剥夺了地球作为宇宙中心的地位，而且哈勃空间望远镜还把整个银河系搬离了宇宙中心，告诉我们宇宙正在膨胀，它有几十亿个星系。最近对于暗物质和暗能量的发现突出说明，构成我们身体的这些高等化学元素只占到宇宙中全部物质/能量成分的0.03%。根据膨胀学说，我们必须把可见宇宙想象成镶嵌在一个大得多的平坦宇宙中的一粒沙，而这个宇宙本身也可能在不断地分裂出新的宇宙。最后，如果M理论被证明是正确的，那么我们必须接受这样一种可能：即便是我们所熟悉的空间和时间维度也必须扩大为11个维度。我们不仅不再处于宇宙的中心，我们还有可能发现，即使是可见宇宙也只是一个大得多的多元宇宙中的一个微小零头。

面对这一宏大的认识，我们想起内战时期的作家斯蒂芬·克莱恩（Stephen Crane）的诗句，他曾经写道：

一个人对宇宙说：
"先生，我存在着！"
"然而，"宇宙回答：
"这一事实并未使我
产生什么义务感。"

（这让人想起道格拉斯·亚当斯（Douglas Adams）的科幻奇谈《搭便车者的银河系漫游指南》〔*Hitchhiker's Guide to the Galaxy*〕，其中

写到一个叫做全视野涡流〔Total Perspective Vortex〕的装置，它保险能把任何一个头脑健全的人变成一个思维狂乱的疯子。在舱室中有一张宇宙全图，有一个细小的箭头标着“你所处的位置在这里”。）

但在另一个极端，我们还有人择原理，它让我们认识到，只是由于有了一套奇迹般的“意外”，生命意识才在我们这个三维宇宙中成为可能。使智慧生命得以成为现实所需要具备的一系列参数，范围狭窄到荒唐的地步，而我们恰恰就在这么狭窄的一个范围内生机盎然。质子的稳定性、恒星的大小、高等元素的存在，诸如此类，都好像经过了精细设定，使复杂形式的生命和意识得以产生。这种幸运的环境究竟是人为设计的还是意外产生的，人们可以辩论。但要使我们的存在成为可能，则需要复杂精确的参数调整，这一点却无可争辩。

斯蒂芬·霍金说：“如果大爆炸发生1秒钟之后的膨胀速度哪怕是慢了一千亿分之一，（宇宙）就会在达到其目前的规模之前重新坍塌……像我们这样一个宇宙能够从像大爆炸这类的事件中产生出来，其偶然性实在太巨大了。我认为这很清楚地表明应从宗教上找到解释。”

我们常常不能够充分认识生命和意识究竟有多么宝贵。我们忘记了，像液态水这样一种简单的东西，是宇宙中最珍贵的物质之一。在太阳系，乃至银河系中的这一区域中，只有在地球上（可能还包括木星的卫星欧罗巴）才能找到液态水。人类大脑有可能是大自然在太阳系中，乃至远达最近的恒星范围内所创造的最为复杂的物体。当我们审视拍自火星或金星的逼真照片，它们的大地上了无生机，完全不存在城市及灯火，连构成生命的基本的复杂有机化学物质都没有，我们受到震慑。深邃的太空中无数的世界空无生命，更不用提智慧生命了。这应该令我们认识到生命是多么脆弱，它能够在地球上生机勃勃又是怎样一种奇迹。

从某种意义上来说，哥白尼原理和人择原理是涵盖我们这一存在的两极观点，帮助我们认识到自己在宇宙中所扮演的真正角色。一方面，哥白尼原理迫使我们面对宇宙，也可能是多元宇宙的纯然巨大；另一方面，人择原理则迫使我们认识到，生命以及意识又是多么难得。

但是从根本上来说，哥白尼原理和人择原理之辩是不能确定我们在宇宙中的角色的，除非我们能以更大的视角，以量子理论的视角，来看待这一问题。



量子意义

量子科学的世界对我们在宇宙中的角色这一问题提供了启示，但它是以另一个角度来看待这个问题的。如果接受维格纳（Wigner）对薛定谔之猫这一问题的解释，那么我们必然会看到意识之手无处不在。在无限多的观察者的链条上，每一位都观察着前一位观察者，最终引向一个宇宙观察者，他可能就是上帝本人。在这幅图景中，宇宙之所以存在，是因为有一位神祇在观察着它。但是如果惠勒的解释是正确的，那么整个宇宙就是被意识和信息所主宰着。在这幅图景中，意识是主宰力量，决定着存在的性质。

维格纳的观点反过来又引发罗尼·诺克斯（Ronnie Knox）写下如下的诗句，它是关于一位怀疑论者与上帝之间的一次遭遇，它思索的问题是，如果没有人在观察，那么庭院中的树是否还存在：

曾有人说："上帝
定然十分诧异：
既然庭院无人
此树缘何兀立。"

有匿名好事者写下了如下的应和：

君之所言差矣
我何片刻离去
此树犹自兀立
在下乃是上帝

换句话说，树在庭院中存在，是因为一直都有量子观察者，使波函数坍塌，而这个观察者就是上帝本人。

维格纳的解释把意识问题摆放到了物理学基础的正中心。他与伟大的天文学家詹姆斯·吉恩斯（James Jeans）遥相呼应。詹姆斯·吉恩斯曾经写道："50年前，一般都把宇宙看做是一架机器……但当我们转向尺度的两个极端时，不论是大到整个宇宙，还是小到原子的核心深处，我们却发现对大自然的机械解释失效了。我们面对着的，是绝非机械性的实体和现象。对于我来说，它们与其说是机械过程，不如说是思维过程；宇宙更像是一个巨大的思维，而不是一架巨型的机器。"

这种解释的一种最大胆的形式，可能就是惠勒（Wheeler）的"比特是存在的根本"理论。"不只是我们适应于宇宙。宇宙也适应于我们。"换

句话说，我们自己的现实存在是由于我们自己所做的观察造成的。他把这称为“观察者起源论”（Genesis by observership）。惠勒声称，我们生活在一个“参与的宇宙”（participatory universe）之中。

这些话得到了诺贝尔奖获得者、生物学家乔治·沃尔德（George Wald）的呼应，他写道：“在没有物理学家的宇宙中当一个原子是可悲的。而物理学家是由原子构成的。物理学家是原子们理解原子的方式。”一神教的教长加里·科瓦尔斯基（Gary Kowalski）概括了这一信念，他说：“可以说，宇宙之所以存在，是为了赞美它自己，是为了揭示它自己的美。如果人类是宇宙在认识自己的成长过程中出现的一种现象，那么我们的目的必然就是要保护我们的世界使之永存，并且对它进行研究，而不是把花了如此之长的时间才形成的东西断送或毁灭。”

如果按这个思路来推想，那么宇宙的确有其目的：产生出像我们一样能够对它进行观察的智慧生命，这样它才能存在。根据这个观点，宇宙之所以能够存在，取决于它能否创造出像我们这种能够对它进行观察的智慧生命，从而使它的波函数坍塌。

我们可以从维格纳对量子理论的解释中得到宽慰。然而，还有另外一种解释，也就是多世界解释，它所提出的关于人类在宇宙中的角色的观念是完全不同的。根据多世界解释，薛定谔之猫可以既已死去，同时却也还活着，道理很简单，因为宇宙本身分裂成了两个不同的宇宙。



多元宇宙的意义

在多世界理论中，人容易迷失在无穷多的宇宙之中。拉里·尼文（Larry Niven）的短篇小说《万千之路》（*All the Myriad Ways*）对这些平行量子宇宙的道德含义进行了探索。故事中，副侦探吉恩·特林布尔对一连串神秘的轻率自杀案件进行调查。忽然之间，全城有许多过去从没有过精神病史的人，或从桥上跳下去，或打爆自己的脑袋，甚至进行集体谋杀。当建立了“穿越时间公司”的亿万富翁安布罗斯·哈蒙在扑克牌桌上赢了500美元之后，从他的豪华公寓的36层楼上一跃而下时，这种事件的神秘性就更为加深了。他富有，有权势，交际广泛，各种享受生活的条件他全部具备；他的自杀毫无道理。但是特林布尔最终发现了其中的一个规律。穿越时间公司的飞行员中有百分之二十都自杀了；事实上，这些自杀都发生在穿越时间公司成立一个月之后。

随着调查深入，他发现哈蒙是从其祖上继承的巨额财富，但都挥霍在资助一些不靠谱的项目上了。他耗尽了全部的财富，只有一项赌注成功了。他聚集了一小撮物理学家、工程师和哲学家，对是否存在平行的时间轨迹进行了调查。最终他们设计出了一种运载工具，可以进入一条新的时间航线，其飞行员很快从“美国南部邦联”带回了一项新发明。穿越时间公司于是出资，对平行时间航线进行了几百次考察，把所发现的新发明带回来并申请专利，很快，穿越时间公司有了亿万美元身价，拥有我们这个时代最重要的世界级发明的专利。看起来，在哈蒙的管理下，穿越时间公司应该成为它那个时代最成功的公司了。

他们发现，每条时间航线都是不同的。他们发现了天主教帝国、美国印第安人统治的美洲大陆、俄罗斯帝国，还有几十个毁于核战争，业已死去的充满放射线的世界。但最后他们发现了某些极为令人不安的东西。他们发现了自己的复本，他们的生活轨迹几乎与他们自己的毫无二致，只是其中有一个离奇的曲折。在这些世界中，他们发现不论他们以前做过什么，任何事情都有可能发生：不论他们以前工作得是否努力，他们都有可能实现自己最离谱的梦想，或是生活在最令人难以想象的噩梦之中。不论他们以前做过什么，在有些宇宙中他们是成功的，在另一些宇宙中则完全失败。不论他们以前做过什么，总有自己的无数个副本，他们做出了相反的决定，而且收获了一切可能的后果。如果做了银行抢劫犯之后，在某个宇宙中你逃脱了追究，那么为什么不做呢？

特林布尔想：“任何地方都不存在侥幸。每项决定都有双向后果。你呕心沥血地做出的每一个聪明选择，也就等于同样做出了一系列相关的选择。整个历史中都是如此。”后来他有了一个刻骨铭心的认识，使他从头到脚失望到底：在一个一切都有可能的宇宙中，没有任何东西具有任

何道德意义。他陷入绝望中无力自拔，意识到，我们最终无法掌握自己的命运，不论我们做出什么决定，其后果都无关紧要。

最终他决定效法哈蒙。他拔出枪对准了自己的脑袋。但就在他扣动扳机的时候就存在着无数的宇宙，在其中有些宇宙，枪要么没打响，要么子弹射中了天花板，要么子弹杀死了侦探，等等。特林布尔的最终决定在无穷数量的宇宙中以无穷种方式上演了。

当我们想象量子多元宇宙时，我们就像上面故事里的特林布尔一样，面临着这种可能：虽然在不同的量子宇宙中，我们的平行自身可能具有完全一样的基因密码，但是在我们生涯中的一些关键时刻，我们的机遇，给我们出主意的人，以及我们的梦想都可能把我们引向不同的道路，引向不同的生活轨迹和命运。

这种两难境地实际上差不多已经在我们的生活中出现了。这只是个迟早问题。也许只需几十年，人类基因克隆就会成为生活中的寻常事。虽然把人克隆极端困难（事实上，还没有人能完全克隆出一个灵长类动物，更不要说人类了），其涉及到的伦理问题极为令人不安，但这件事情在某个时候还是不可避免地会发生。当它发生了以后，问题就来了：我们的克隆体有灵魂吗？我们本人要不要对自己的克隆体的行为负责？在量子宇宙中，我们会有无穷数量的量子克隆体。由于我们的量子克隆体当中有许多可能会作恶，那我们要不要对它们负责？我们的量子克隆体所作的孽会不会使我们的灵魂受折磨？

但是，对于与量子相关的存在危机有一个解决办法。如果我们扫视多元宇宙中的无穷世界，我们会发现命运的随机可能性之多令人目眩，难以想象；但在每个世界中，因果规律作为一种常识准则大体上还都是一样的。在物理学家提出的多元宇宙理论中，各不相同的宇宙在宏观上都遵循牛顿式的法则，所以我们大可以放心地生活，知道我们的行为结果大体上还是可以预知的。平均起来看，每个宇宙都是严格遵循因果律的。在每个宇宙中，如果我们犯了法，都难免进监狱。我们可以放心大胆地做自己的事情，不必去担心与我们并存的平行世界中发生的事情。

这使我想起物理学家之间有时互相讲述的一个寓言故事：有一天，一位俄罗斯物理学家被带到了拉斯维加斯。这座罪孽之城充满了资本主义的奢华糜烂，看得他眼花缭乱。他立即走向赌桌，把所有的钱都押在第一个赌注上。有人告诉他，这种赌法太傻了，这种策略完全违反了数学和概率的法则，他回答说：“是的，你说的都对，但是在某一个量子宇宙中，我就因此而发了！”这位俄罗斯物理学家可能是对的，在某个平行宇宙中，他可能正在享受超乎其想象的财富。但具体在这个宇宙中他输了，输得一文不名。而且他必须承受这种后果。



物理学对宇宙的意义是怎么看的

这场关于生命意义的辩论，由于史蒂文·温伯格在他的那本书《最初三分钟》（*The First Three Minutes*）提出的一些惹人争议的说法而变得愈发激烈。在那本书中，他直言不讳地声称："宇宙越是看来可以理解，就越显得毫无意义……人生是场闹剧，只有为数非常有限的几件事可以使它从这种闹剧水平上略有提高，而努力去理解宇宙便是其中之一，可使人生带上一点悲剧性的优雅色彩。"温伯格承认，在他所写下来的所有话中，这句话招引的反应最为激烈。他后来又引发了一场争议，说："不管有没有宗教，好人照样做事规矩，坏人仍会作恶；但是要让好人作恶的话，那就需要宗教了。"

很明显，温伯格是在有意恶搞，他在挑逗那些号称对宇宙意义有所洞察的人，借而从中取乐。"我在哲学问题上凑趣已经有好多年了。"他供认说。与莎士比亚一样，他相信世界就是个大舞台，"但是，悲剧没有被写成剧本；悲剧在于没有剧本。"

温伯格的话与科学家同事、牛津大学的理查德·道金斯（Richard Dawkins）有异曲同工之妙。道金斯是一位生物学家，他说："在以盲目的物理作用力构成的宇宙中……有些人要受伤害，另一些人会走运，从中你找不到任何规律或道理，也不存在正义。我们所观察到的这个宇宙的种种特性，恰恰就是在归根结底不存在设计、不存在目的性、不存在恶，也不存在善，只有盲目的毫无怜悯的冷漠这种情况下，它应该就是那副样子。"

实质上，温伯格提出了一项挑战。如果人们认为宇宙有其目的，那么它是什么？天文学家们窥探广阔无垠的宇宙，看到宇宙以爆发速度膨胀了几十亿年，其中一些比我们的太阳大得多的巨大恒星正在诞生或死去。实难令人相信，这怎么可能是经过精心安排的，怎么可能是为了让居住在一颗围绕着一颗默默无闻的恒星旋转的微小行星上的人类有什么目的。

虽然他的说法引起了激烈的争议，但很少有几个科学家站出来回应。但是，当阿兰·莱特曼（Alan Lightman）和罗伯塔·布拉韦尔（Roberta Brawer）采访一组著名宇宙学家，问他们是否同意温伯格的意见时，只有很少几个人接受温伯格对宇宙的这种相当黯淡的估测。坚定地站在温伯格阵营里的科学家当中，有一位是利克（lick）天文台和加利福尼亚大学圣克鲁兹分校的桑德拉·法贝尔（Sandra Faber），她说："我不相信地球是为人类创造的。它是由自然过程产生的一颗行星，生命和智慧生命都是这些自然过程的进一步延续。我认为宇宙也与此完

全一样，是某种自然过程的产物，我们在其中的出现，完全是我们这一具体区域中物理法则的自然产物。我想，这个问题中暗含着，人类存在之外还有某种带有目的性的推动力量。对此我不相信。所以，我想，从最终意义上我同意温伯格，从人类的视角来看，宇宙是毫无意义的。”

但是在天文学家中有一个大得多的阵营认为温伯格错得离谱，他们认为宇宙确有其目的，虽然他们无法一一说明。

哈佛大学教授玛格丽特·盖勒（Margaret Geller）说：“我想我的生活观点是，生命苦短，要享受生活。重要的是应该尽可能多地获得丰富的阅历。这就是我所争取做的。我争取做一些有创造性的事。我争取教育人民。”

而且其中有几个人的确从上帝的杰作中看出宇宙有其目的性。阿尔伯塔（Alberta）大学的唐·佩奇（Don Page）过去是斯蒂芬·霍金的学生，他说：“是的，我认为毫无疑问有目的性。我不知道全部的目的都有哪些，但我想，其中之一就是上帝要创造人类来陪伴上帝。更重大的目的可能是，要用上帝的创造来使上帝荣耀。”他甚至在量子物理学的抽象规则中也看出了上帝的杰作：“从某种意义上来说，物理法则似乎相当于上帝选择使用的语法和语言。”

马里兰大学的查尔斯·米什内尔（Charles Misner）是早期分析爱因斯坦广义相对论的先行者之一，他与佩奇有共同认识：“我感觉，宗教中有非常严肃的东西，例如上帝的存在，人类的手足之情，这些都是严肃的真理，总有一天我们会学会理解它，不过可能要采用另一种语言，站在另一种尺度上……所以我认为，那里面有实实在在的真理，宇宙之所以宏伟壮丽是有其意义的，我们应该对宇宙的创造者心生敬畏。”

由造物主的问题又产生了另一个问题：科学在上帝存在与否方面能有发言权吗？神学家保罗·蒂利希（Paul Tillich）曾经说，科学家中唯有物理学家可以说出“上帝”一词而不必脸红。确实，科学家中唯有物理学家在探究人类最大的问题之一：是否存在一个宏伟的设计蓝图？如果是的话，那么存在不存在一个设计者？找到真理、原因或启示的真正途径是什么？

弦理论允许我们把亚原子粒子看做是振动的弦上的“音符”；化学法则相当于可以在这些弦上奏出的“旋律”；物理学法则相当于适用于这些弦的“和弦”规则；宇宙是这些弦的“交响曲”；而“上帝的心思”则可被视为响彻超空间的宇宙音乐。如果这种类比能站得住脚，那么人就要问出下一个问题：有没有作曲者？这个理论是不是什么人设计出来的，以便允许我们在弦理论中看到的丰富万千的各种可能宇宙得以存在？如果宇宙像一只经过精密调节的手表，那么存在不存在这么一个制表匠？

在这方面，弦理论对这个问题有所启示：上帝有其他选择吗？爱因斯坦在创建他的宇宙理论时，他总是会问这样一个问题，如果是我的

话，我会把宇宙设计成什么样子？他倾向于认为，也许上帝在这个问题上没有选择余地。弦理论似乎支持了这种观点。当我们把相对论与量子理论结合起来的时候，就会形成各种理论，充斥着隐含的但致命的弱点：发散问题会当场发作，异常条件会破坏这个理论的对称性。只有纳入了强大的对称性以后才可以消除这些发散和异常现象，而M理论就具备了这当中最强大的对称性。所以，也许会有一种单一的、独一无二的理论，它可以满足我们在一个理论中所要求的所有假定条件。

由于爱因斯坦经常就“老家伙”的问题写大块文章，所以曾被问及上帝存在与否的问题。对于他来说，有两种神。第一种神是有人格的神，他回应人们的祈祷，他是亚伯拉罕、伊萨克和摩西的神，是那个能在水中分出一条路，并创造各种奇迹的上帝。然而，这个上帝未必是大多数科学家相信的。

爱因斯坦一次写道，他相信“斯宾诺莎（Spinoza）的上帝，他通过万物的和谐存在而显示自己，而不是那个关注人类命运和行为的上帝”。斯宾诺莎和爱因斯坦的神是和谐之神，是理性与逻辑之神。爱因斯坦写道：“我无法想象存在着一个能够对其创造物进行赏罚的上帝……我也不相信个人在其身体死亡之后还能存活。”

（在但丁的《神曲·地狱篇》〔*In　ferno*〕中，最靠近地狱入口的第一层居住着心地善良性情温和但不能全然信仰耶稣基督的人们。但丁在第一层地狱中发现了柏拉图〔Plato〕和亚里士多德〔Aristotle〕，以及其他伟大的思想家和启蒙者。正如物理学家维尔切克评价的：“我估计许多现代科学家，也可能是其中的大多数都会到第一层地狱去落户。”）马克·吐温说不定也在那个群星荟萃的第一层地狱之中。马克·吐温有一次把“信心”定义为“相信连任何蠢货都知道不是那么回事的东西”。

我个人从纯科学的观点认为，要证明爱因斯坦或斯宾诺莎所说的上帝存在，最强大的论据可以出自目的论。如果弦理论最终从实验上被确认是个万物理论，那么我们就必须要问，这些方程本身是从哪里来的。如果统一场论果真如爱因斯坦相信的那样是独一无二的，那么我们必须要问这种独一无二性从何而来。相信这种上帝的物理学家相信，宇宙如此之美、如此之简洁，因此宇宙的终极法则不可能是意外造成的。宇宙完全可以是随机的，或者由无生命的电子和中微子构成，不能产生任何生命，更不要说智慧了。

如果，现实存在的终极法则像我和其他一些物理学家相信的那样，可以用一个不超过1英寸（2.54厘米）长的公式描述的话，那么问题就是，这个1英寸长的方程式从何而来？

正如马丁·加德纳（Martin　Gardner）所说的：“为什么苹果会落下来？因为万有引力定律。为什么会有万有引力定律？因为相对论中的某些部分由这些方程组成。如果哪一天物理学家成功地写出一个终极方程，一切的物理法则都可以由它来描述，那么人们仍然要问，‘为什么会

有这个方程？’”



创建我们自己的意义

从根本上来说，我相信，存在着可以有序和谐地描述整个宇宙的一个单一方程式这件事本身，就暗示着存在着某种设计。然而，我不相信对于人类来说它能有什么人格上的意义。不论物理学最终能以何种辉煌或优雅的公式表达，它都不能使几十亿人获得精神升华，给他们以情感上的满足。宇宙学和物理学不会有魔法公式使大众痴迷，使他们的精神生活丰富。

对于我来说，生命的真正意义在于，我们必须找到我们自己存在的意义。从根本上来说，是我们在创造自己的意义；我们的使命就是塑造我们自己的未来，而不是由某种更高的权威把它下发给我们。爱因斯坦一次承认，有成百上千的人心怀良好意愿，给他写了成堆的信，恳求他揭示生命的意义，但他毫无能力对他们进行抚慰。正如艾伦·古思所说的："提出这些问题本身没有错，但你不应指望一个物理学家能给出什么更智慧的答复。从我个人的情感上来说，我觉得生命归根结底而言有其目的，我觉得它所具有的目的就是我们赋予它的意义，而不是出自任何宇宙设计的目的。"

我相信，西格蒙德·弗洛伊德（Sigmund Freud）对潜意识的黑暗面做了大量的猜测，说使我们的头脑保持稳定并感觉有意义的，是工作和爱，这话最接近真理。工作可以给我们一种责任感和目的感，使我们的工作和梦想有一个具体的焦点。工作不仅使我们的生活井然有序，还给我们提供了自豪感、成就感，以及使我们有所作为的一方天地。而爱则是把我们编织在社会机体中的一个要素。没有爱，我们就迷惘、空虚，失去了根本。我们会漂浮在自己个人的天地中，断绝了他人的关注。

除了工作和娱乐之外，我认为还应该有另外两个因素使生命有了意义。第一，要实现我们与生俱来的才干，不管它是什么。不论命运给了我们多么不同的才能和力量，我们都应该努力去把它们发挥到极致，而不要让它们萎缩衰变。在生活当中，我们都知道有一些人，他们没有能够实现孩提时代展现的才华。其中许多人为自己本可以成为什么样子而背上了包袱。我想我们不应该抱怨命运，而应该如实地接受自己，并且在力所能及的范围内努力实现自己的梦想。

第二，当我们离开这个世界的时候，我们应该使它变得比我们降生时更好。作为个人，我们应该可以做出应有的贡献，不论是探索大自然的奥秘、清理环境、为和平和社会正义而工作，还是作为启蒙者和指路人，培养年轻一代的探索和进取精神。



向I类文明过渡

在安东·契诃夫的戏剧《三姐妹》（*Three Sisters*）中，维尔希宁上校在第二幕中宣称："再过一两个世纪，或再过一千年，人们将以新的、快乐的方式生活。我们是看不到了，但这正是为什么我们要生活、为什么我们要工作的目的。这就是为什么我们要受磨难。我们在进行创造。这就是我们存在的意义。我们所能知道的唯一幸福，就是朝着那个方向努力工作。"

从我个人来说，我并不因为宇宙如此浩瀚而悲叹，我为紧挨着我们就存在着许多全新的世界这种想法而激动。在我们所生活的这个时代，我们刚刚开始利用自己的太空探测器、空间望远镜，以及我们的理论和方程式对宇宙进行探索。

我为能够生活在这个时代，我们的世界正在经历如此的英雄壮举而感到庆幸。在我们有生之年，将目睹人类历史上可能是最伟大的一次过渡，向I类文明过渡，它有可能是人类历史上最重要的但也是最危险的一次过渡。

过去，我们的祖先生活在一个严酷而不宽厚的世界中。在人类历史中的大部分时间里，他们的生命短促，近乎禽兽，平均预期寿命大约20岁。在他们的生活中，对疾病的恐惧无时不在，命运完全不能自己掌控。对先祖们的遗骨进行检验时，显示出它们劳损到难以置信的程度，证明他们每天承受着怎样的重负；它们还刻画着疾病和可怕事故的遗痕。甚至就在上个世纪，我们的祖父辈也没能享受到现代卫生条件、抗生素、喷气式飞机、计算机或其他电子奇迹。

然而，我们的孙辈将迎来地球上第一次全球文明的曙光。如果我们能够不让自己这些经常是粗蛮的自毁直觉把自己吞噬掉，那么到了我们的孙辈所生活的时代，人类就会不再受欲望、饥饿和疾病的纠缠。在人类历史上的第一次，我们既有手段毁灭地球上的一切生命，也有手段在这颗行星上建立起天堂般的乐园。

我在孩提时代经常幻想生活在遥远的未来会是什么样子。今天，我相信如果让我选择生活在人类历史中的哪一个具体时代，我会选择现在这个时代。我们正处于人类历史中最激动人心的时代，处在有史以来一些最伟大的宇宙发现和技术进步的巅峰。我们正在经历着历史性的过渡，从自然之舞的被动观察者，过渡为自然之舞的指挥者，有能力操控生命、物质和智慧。然而，这种令人敬畏的能力也附带着巨大的责任，要确保我们努力的成果得到明智的应用，造福于全人类。

现在活着的这一代人也许是地球上生活过的人类当中最重要的一代。与我们的前代不同，在我们手中掌握着我们种群的未来命运，要么冲天而起，实现我们成为I类文明的诺言，要么跌入混乱、污染和战争的深渊。我们所做的决定将影响到整个这一世纪。我们如何解决全球战争、防止核扩散、宗教派别和种族冲突关系到是为I类文明奠定基础，还是摧毁它。也许，当前这一代人的生存目的和意义就是要保障顺利过渡到I类文明。

何去何从在我们的掌握中。这就是我们现在活着的这代人所能留下的东西。这就是我们的使命。

注释

[1] 爱因斯坦认识到：如果时间的节拍可以依赖你的速度而改变……　物体以接近光速移动的时候会收缩这一现象，实际上是由亨德里克·洛伦兹（Hendrik Lorentz）和乔治·弗朗西斯·菲茨杰拉德（George Francis Fitz Gerald）发现的，比爱因斯坦还要稍早些。但是他们没能理解这一效应。他们想用一种纯牛顿式的理论框架对这一效应进行分析，把它看成是原子穿过“以太风”时受到电磁挤压而造成的收缩。爱因斯坦思想的力量在于，他不仅以一项法则为基础（光速恒定）得出了一整套狭义相对论，而且还将它解释为一项普遍适用的、与牛顿理论相矛盾的自然法则。因此，这种扭曲变形实际上属于空间时间的内在特性，而不是物质的电磁变形。在得出与爱因斯坦方程式相同的结果方面，伟大的法国数学家亨利·庞加莱（Henri Poincaré）可能是最接近的。然而只有爱因斯坦得出了全套方程式，并且深刻而具体地洞悉了这个问题。

[2] 这就是电冰箱或空调机的原理。　当气体膨胀的时候，它就会冷却。例如，在你的电冰箱中就有一条连接冰室内外的管子。当气体进入电冰箱内部的时候，气体就膨胀，从而使管子及食品降温。当它离开电冰箱内部时，气体收缩，于是管子就变热。同时还有一个机械泵向管子中泵气。这样，电冰箱的后面就变热，而电冰箱的内部就变冷。恒星的工作原理正好倒过来。引力使恒星收缩，于是恒星就变热，直至达到聚变的温度。

[3] “当我15岁的时候，我听了弗雷德·霍伊尔在BBC作的讲座……”　霍伊尔的第五次，也是最后一次讲座是最具争议性的。因为他对宗教提出了批评。（霍伊尔一次以他特有的率直说到，对北爱尔兰问题的解决办法就是把每一个牧师及教士都关进监狱。他说：“我所见到过或听到过的宗教争端，没有一个值得哪怕是一个孩子去因它而死。”）

[4] 当诺贝尔奖忽略了他……时，他感到非常愤怒……　由于自己的科学发现被忽略，兹维基（Zwicky）公开表达了怨恨，一直到死都这样。但伽莫夫在公开场合中却对自己被诺贝尔奖忽略这件事保持沉默，尽管他在私人信件中也表达了巨大的失望。与兹维基不同，伽莫夫把自己充沛的科学才能及创造力转向了对DNA的研究，最终解开了大自然是如何从DNA中制造出氨基酸的这个谜。诺贝尔奖获得者詹姆斯·沃森（James　Watson）甚至通过把伽莫夫的名字放进他最新自传的标题中这一方式，表达了对伽莫夫这项贡献的敬意。

[5] 这个规则的一个明显例外……　科学家一直在寻找宇宙中的反物质，但找到的很少（只是在银河系的核心附近找到了一些反物质流）。由于物质和反物质实质上难以区分，它们都遵循着同样的物理学及化学法则，因此很难把它们区分开来。但是，有一种办法，那就是寻找带有标志性的1.02兆电子伏特的伽马射线放射。这是存在反物质的独特标志，因为这是当一个电子与一个反电子相撞时释放出来的最低限度能量。但当我们对宇宙进行扫描时，我们看不到大量的1.02兆电子伏特伽马射线，这就说明反物质在宇宙中是不多见的。

[6] 如果白矮星的重量达到太阳质量的1.4倍以上……　通过以下推理可以得出钱德拉塞卡尔极限。一方面，引力的作用把白矮星压缩到难以置信的密度，使白矮星中的电子相互靠得越来越近。另一方面，存在着泡利不相容原理，它声称，两个电子不可能具有完全相同的量子数来描述其状态。这就意味着，不可能有性状相同的两个电子来占据完全相同的一个点，所以会有一种净作用力把电子分开（而不止是静电排斥）。这意味着，有一股向外推的净压力，使电子不能进一步互相压向对方。这样，当这两种作用力（一种排斥力，一种吸引力）正好互相抵消时，我们就可以计算出白矮星的质量，而这就是1.4倍太阳质量的钱德拉塞卡尔极限。

对中子星而言，由于有引力挤压着一团纯中子球，于是就产生了一种新的钱德拉塞卡尔极限，大约为3个太阳质量，这是因为，由于存在这种力的缘故，中子也会互相排斥。但是，一旦中子星的质量超过了其钱德拉塞卡尔极限时，它就会坍塌为一个黑洞。

[7] 正如雅各布·贝肯斯坦（Jacob　Bekenstein）和斯蒂芬·霍金（Stephen　Hawking）指出的……　他们是最早将量子力学应用于黑洞物理学的人之一。根据量子理论，亚原子粒子从黑洞引力下隧穿出来的概率是有定数的，所以，它会缓慢地释放辐射。这是隧穿的一个例子。

[8] 性别悖论。　性别悖论有一个广为人知的例子，是由英国哲学家乔纳森·哈里森（Jonathan　Harrison）在一篇1979年刊登在《分析》杂志中的小说里写的。该杂志向读者提出挑战，看谁能给出合理的解释。

故事的开始是说，年轻的女主人公乔卡斯塔·琼斯有一天发现了一台老旧的冷冻箱。她发现在冷冻箱中有一个处于深冻状态的英俊小伙，而且还活着。把他解冻以后，她得悉他的名字叫杜姆。杜姆告诉她，他有一本书，它既讲述了如何建造能把活人冷冻的冷冻箱，也描述了建造时间机器的方法。两人坠入爱河，结婚，而且不久生下了一名男婴，他们给他起名叫迪伊。

多年后，迪伊长成了一个小伙子，他步父亲的后尘，决定建造一架时间机器。这一次，迪伊和杜姆一起带着那本书回到过去。然而这次旅行以悲剧告终，他们发现自己被困在遥远的过去，食品也用尽了。由于意识到大限将至，迪伊做了一件有可能保住性命的事，那就是杀了他的父亲，把他吃掉。然后迪伊决定按照那本书中所说的办法建造一台冷冻箱。为了保住自己，他进入了冷冻箱，陷入了一种生命停顿状态。

多年以后，乔卡斯塔·琼斯发现了这个冷冻箱，并决定把迪伊解冻。迪伊为了掩盖真相，把自己称作杜姆。他们坠入爱河，后来就有了孩子，他们给他起名为迪伊……如此这般周而复始。

哈里森的挑战引起了反响，人们提出了十几种应对答案。一名读者认为，“时间旅行的可能性本来就是个令人怀疑的命题，而这个故事就建立在这样一个基础之上，其内容之夸张离谱，足可以把它看做是一种反证”。需要注意的是，这个故事中不含祖父悖论。因为迪伊回到过去的方式，是回到过去与他的母亲相识。在任何一个时间点上，迪伊所做的事情都没有一件会使现在成为不可能。（然而，由于那本讲述如何使生命停顿以及如何进行时间旅行的密法的书不知从何而来，因此这里面就有一个信息悖论。但是对于这个故事来说，那本书本身并不是关键）。

另一位读者指出，这个故事中蕴涵着一种奇怪的生物学悖论。由于任何一个个体的DNA中，有一半来自母亲，另一半来自父亲，这意味着，迪伊的DNA中有一半来自琼斯小姐，而另一半来自其父亲杜姆。然而，迪伊就是杜姆。因此，迪伊和杜姆的DNA肯定是一样的，因为他们就是同一个人。但这是不可能的，因为根据基因学法则，他们的基因一半来自琼斯小姐。换句话说，在这种时间旅行故事中，一个人回到过去的时间，并结识了自己的母亲，而且成为了自己的父亲，这是违反基因法则的。

有人可能会想，如果人能既成为自己的父亲，又能成为自己的母亲，那么就可以在性别悖论中找到漏洞，这样一来，你的DNA就全部来自你自己。在罗伯特·海因莱因（Robert Heinlein）的经典故事《你们这些还魂尸》（*All you zombies*）中，一个年轻姑娘做了变性手术，两次回到过去，从而变成了她自己的母亲、父亲、儿子和女儿，也就是说，她的整个家谱就是由她自己一个人构成的。然而，即使是在这样一个离奇的故事中，也隐含着对基因法则的违背。

在《你们这些还魂尸》中，一位名叫珍妮的年轻姑娘在孤儿院中长大。一天她遇到了一位英俊潇洒的陌生人，而且爱上了他。她给他生了个女儿，而这个女儿又被莫名其妙地绑架了。珍妮在生孩子的时候出现了并发症，医生们不得不为珍妮做手术，把她变成一个男人。多年以后，这个男人遇到了一个时间旅行者，把他带到过去，在过去，这个新变成的男人遇到了年轻姑娘时代的珍妮。他们相爱，珍妮怀了孕。于是他把自己的新生女儿绑架走了，并且回到更遥远的过去，把新生儿珍妮抛弃在一家孤儿院。珍妮在那里长大，并遇到了一个英俊潇洒的陌生人……这则故事几乎成功地躲过了性别悖论。因为在这里面，一半的基因是来自作为年轻姑娘的珍妮，而另一半基因是来自作为英俊陌生人的珍妮。然而，变性手术不可能把你的X染色体变成Y染色体，因此这个故事依然存在性别悖论。

[9] 这就消除了霍金发现的无限发散……　要最终解决这些复杂的数学问题，就需要求助于一种新的物理学。例如，许多物理学家，包括像斯蒂芬·霍金和基普·索恩（Kip Thorne），都采用一种叫做“半经典近似”的方法，也就是

说，他们采用一种混合理论。他们假定亚原子粒子遵循量子原理，但他们又允许引力是平滑的、非量子化的（也就是，在他们的计算中，他们不用引力子）。由于所有的发散现象和异常条件都源自引力子，所以这种半经典近似方法就不受这些无穷数的困扰。但是，通过数学方法可以证明，半经典近似的方法是有缺陷的，它得出的最终答案是错误的，因此，用半经典近似方法得出的结果不足为据，在那些最有趣的领域中尤其如此，例如黑洞中心、时间机器的入口，以及大爆炸的刹那间等。需要注意的是，许多声称时间旅行不可能，或你不可能穿越黑洞的“证据”都是用半经典近似方式计算出来的，因此是不可靠的。这就是为什么我们必须借助像弦理论和M理论那样的量子引力理论。

[10] 我们用一个不到一英寸半（3.8厘米）长的方程式，就可以把弦理论中包含的所有信息都归纳进去。　原则上，所有的弦理论都可以用我们的弦场论来做归纳。但是，这个理论还不是它的最终形式，因为众所周知的洛伦兹不变性被打破了。后来，威滕成功地写出了一种优雅版本的开放玻色弦场论（open bosonic string field theory），它是协变的。再后来，麻省理工学院小组、京都小组以及我自己都成功地构建成了协变封闭玻色弦理论（covarient closed

bosonic string theory，然而这个理论不是多项式的形式，因此不便使用）。今天，由于有了M理论，人们的兴趣已经转向了膜，但是人们还不知道是不是有可能构建出一种真正的膜的场论。

[11] 与此相似，内沃（Neveu）、施瓦茨（Schwarz）和雷蒙德（Ramond）的超弦模型也只有在具备了10个维度的情况下才可能存在。 10和11这两个数字在弦理论和膜理论中之所以受到偏爱，实际上有好几个理由。首先，如果我们以越来越高的维度来研究洛伦兹群的表现，我们发现费米子的数量总的来说是随着维度的增加而呈几何级数增长，而玻色子的数量则随维度的增加而呈线性增长。这样一来，只有在低维度下我们才能得到费米子和玻色子数量相同的超对称理论。如果我们对群论做仔细的分析，我们会发现，如果我们有10个或11个维度的话（假定我们最多能有一个自旋为2的粒子，而不是3或更高），那么我们就可以得到完美平衡。所以，我们仅从群论的角度就可以证明10和11是最合适的维度。

还有其他一些办法来说明10和11是“魔法数字”。如果我们研究较高等级的环路图（higher loop diagrams），我们会发现总的来说，单一性保持不住了，对于这个理论来说这就是个灾难。它意味着粒子可以忽然出现，忽然又消失，如同变魔术。但我们发现，在这些维度中，摄动理论又恢复了单一性。

我们还可以证明，在10个以及11个维度时，可以消除“鬼”粒子。鬼粒子是不遵循真正粒子的一般条件的粒子。

总而言之，有了这些“魔法数字”，我们就可以保持：（a）超对称性，（b）摄动理论的可穷尽性，（c）摄动序列的单一性，（d）洛伦兹不变性，（e）消除异常条件。

[12] 类似的发散现象不断困扰着任何一种量子引力理论。 物理学家们试图解决复杂理论的时候，通常使用“摄动理论”，也就是，先解决一个简单点的理论，然后再分析这一理论中出现的小偏差。这些微小偏差反过来又为原来以理想状态为基础的理论提供出无穷数量的小修正因数。每个修正都通常被称为一个“费曼图”（Feynman diagram），它可以用示意图的方式作图像化的描述，代表各种粒子可以互相碰撞的所有可能方式。

历史上，由于摄动理论中的项可以变为无穷大，物理学家们曾为此头痛，因为这样一来整个程序就作废了。但是，费曼和他的同事发现了一系列的巧妙的做法和手法，这样就可以把这些无穷数消除掉（为此他们在1965年赢得了诺贝尔奖）。

量子引力的问题在于，这一整套量子修正实际上是无穷的，也就是说，每个修正因数都等于无穷大，哪怕我们动用费曼和他的同事们设置的那一麻袋技巧也还是如此。我们说，量子引力是“不可重整化的”（not renormalizable）。

在弦理论中，这种摄动展开（perturbation expansion）实际上是可以穷尽的，我们之所以会去研究弦理论，其根本原因就在这里。（从技术上来说，在这方面不存在绝对严谨的证据。但是，可以证明，有无数等级的示意图都可以被证明为可穷尽的，而且还有一些算不上严谨的数学论据，说明这个理论很可能在一切层面上都是可穷尽的）。然而，单凭摄动展开并不能代表我们所知道的这个宇宙，因为摄动展开保持着完美的超对称性，这在自然界中是见不到的。我们在宇宙中所看到的对称性是严重破缺的（例如，我们找不到超粒子的实验证据）。因此，物理学家们需要对弦理论做出“非摄动性”描述，但要做这件事，其难度超乎想象。事实上，目前还没有一种统一的办法用来对量子场论计算出非摄动性的修正值。要建立一种非摄动性的描述方式，有许多困难。例如，如果我们想提高该理论中各种力的强度，这就意味着使摄动理论中的每个项都不断加大，这样，大到使摄动理论讲不通的程度。例如，1＋2＋3＋4…之和就没有意义，因为各项变得越来越大。M理论的优越性在于，它使我们第一次能够通过二元性得出非摄动性的结果。这意味着，一种弦理论的非摄动性限值可以被证明是与另一个弦理论相等的。

[13] 慢慢地，他们意识到，解决的办法可能应该是放弃这种头痛医头脚痛医脚的方式，而采用一种全新的理论。 弦理论和M理论是一种对广义相对论的比较激进的新做法。爱因斯坦是围绕着弯曲时空的概念建立起了广义相对论，而弦理论和M理论则是围绕着延展物体的概念建立起来的，比如在超对称空间中运动的弦或膜。最终有可能把这两种对宇宙的描绘方式联系起来，但目前对此还没有透彻理解。

[14] 这正好是对超弦的对称性的描述，叫做超对称性。 在20世纪60年代末期，当物理学家们最初开始寻找一种可以包括自然界所有粒子的对称性时，却故意没有把引力包括进去。这是因为，有两种对称性。粒子物理学中的对称性是把粒子重新分组的对称性。但还有另外一种对称性，它把空间转换为

时间，而且这种空间时间对称性是与引力相关联的。引力理论不是建立在点状粒子可以互换的这种对称性上的，而是建立在四个维度可以轮换的这种对称性上的：那就是四个维度的洛伦兹群O（3，1）。

此时西德尼·科尔曼（Sidney Coleman）和杰弗里·曼杜拉（Jeffrey Mandula）证明了一项有名的理论，声称不可能将描述引力的空间时间对称性与描述亚粒子的对称性相结合起来。这一“止步”理论对任何想要建立一种宇宙“主对称”的想法泼了一瓢冷水。（举例来说，如果有人想要使大统一理论[GUT]群中的SU（5）与相对论群的O（3，1）结合起来，其结果就是灾难性的。比如，粒子的质量会一下子变为连续性的，而不是离散性的。这种情况是令人失望的，因为这意味着，你不可以想当然地以为可以借助于一种更高层次的对称性把引力与各种其他作用力放在一起。这也就意味着，说不定根本就不可能有统一场理论。）

然而弦理论运用迄今为止为粒子物理学找到的最强有力的对称理论解决了所有这些棘手的数学问题：超对称。目前，超对称是已知的唯一一种能够避免科尔曼曼杜拉止步定理的方法。（超对称利用了这项定理中的一个微小但关键的空子。通常情况，当我们引入像“a”或“b”这样的数字时，我们会认为$a \times b = b \times a$。这在科尔曼曼杜拉定理中是默认的。但在超对称中，我们引进了“超数字”，这样一来，$a \times b = -b \times a$。这些超数字有奇异的特性。例如，如果$a \times a = 0$，那么a可以是非零，对于普通数字来说，这听起来荒唐。如果我们把超数字插入到科尔曼曼杜拉定理中去，就会发现这个定理不再起作用）。

[15] 超对称还奇迹般地解决了若干多年来一直困扰着物理学家的技术性问题。　首先，它解决了“级列问题”（hierarchy　problem），这个问题实际上注定了大统一理论（GUT）不能成功。在建立统一场理论时，我们碰到两种很不相同的质量标度。有一些粒子，例如质子，它们的质量就是我们寻常所见的那种质量。还有一些粒子则有相当大的质量，其蕴涵的能量堪与接近大爆炸时的能量相比，也就是普朗克能量。这两种质量标度必须分别对待。然而，当我们考虑量子修正的时候，灾难性的结果就出来了。由于存在量子涨落，这两种不同类型的质量开始混合，因为一套轻粒子会转变为另一套重粒子，这种概率是有定数的，反之亦然。这意味着应该存在着一种各种粒子连续体（a continuum of particles），其质量在寻常质量和大爆炸时的巨大质量之间平滑地转换着，而这种大爆炸时的巨大质量我们显然在自然界中是看不到的。这就是著名的“级列问题”。这实际上就断送了大统一理论。而这时就需要用到超对称。人们可以证明，在超对称理论中，两种不同的能量标度不会混合，会发生一种美妙的抵消过程，使两种标度永远不会互相发生作用。费米子项正好抵消掉玻色子项，从而得出可穷尽的解。据我们所知，超对称可能是解决“级列”问题的唯一一种途径。

此外，超对称还解决了20世纪60年代的科尔曼曼杜拉定理第一次提出的一个问题。这个定理证明，不可能把一个以像SU（3）那样的夸克为基础产生作用的对称群与像爱因斯坦相对论中的空间时间为基础产生作用的对称相结合。因此根据这项定理，不可能存在能够把这两种对称性统一起来的对称性。这是令人沮丧的，因为这意味着这种统一在数学上是不可能的。然而超对称性给这项定理提供了一种微妙的解决余地。这是超对称性的许多理论突破之一。

[16] 马尔达塞纳（Maldacena）证明，在这一个五维宇宙与它的“边界”之间存在着对偶性……　更准确地说，马尔达塞纳所证明的，是II型弦理论压缩为一个五个维度的反德西特尔空间后，就成为处在其边界上的四维共形场论的一个对偶。人们原本希望，在弦理论和四维QCD（量子色动力学）之间可以建立起这一怪异对偶性的修改版本：强相互作用理论。如果可以建立起这种对偶性，那就是一项突破，因为那样一来，说不定就有可能直接从弦理论中对像质子那样的强相互作用粒子的特性进行计算了。然而目前这一愿望还没有实现。

[17] 但是要确保这种难以置信的精确度，科学家必须做出计算，对牛顿定律稍做修正，因为根据相对论，卫星在外太空翱翔时，无线电波的频率会稍有偏移。　这种偏移以两种方式发生。因为近地卫星以每小时18000英里（28968.2千米）的速度飞行，因此相对论就发生作用，卫星上的时间就会变慢。这也就是说，卫星上的时钟与地面上的时钟相比，看起来要慢了一些。但由于卫星在外太空所受到的引力场要弱一些，由于广义相对论的缘故，它的时间也会加快一些。因此，根据卫星与地球之间的距离，卫星上的时钟要么减慢（由于狭义相对论的缘故），要么加快（由于广义相对论的缘故）。事实上，在离开地球的某个距离上，这两种效应会正好相互抵消，卫星上的时钟会与地面上的时钟走得一样。

[18] 如果一切都能按计划进行……　WMAP卫星测量的宇宙背景辐射可回溯到大爆炸后的380000年，因为初始爆炸发生后，在那时原子首次开始凝聚。然而，LISA卫星可能会检测到的引力波可回溯到引力开始与其他的力分离的时候，这种分离发生在接近大爆炸发生的瞬间。因此，某些物理学家相信LISA卫星将能验证或排除今天提出的各种理论，包括弦理论。

[19] 但苏联解体了……　在决定SSC（超导超级对撞机）项目命运的最后几天听证会上，一位国会议员问了这样一个问题：我们用这台机器能够找到什么？不幸的是，所给的答复是：希格斯玻色子。不难想象他当时目瞪口呆的样子。花110亿美元就是为了再找出一枚粒子？最后几个问题中有一个是由共和党议员哈里斯·W．法韦尔（伊利诺斯州共和党议员）提出的，他问道：“这台机器能让我们找到上帝吗？”共和党议员唐·里特（宾夕法尼亚州共和党议员）又加上一句：“如果它能，那我再回过头来支持它。”不幸的是，物理学家们没有能够向国会议员们提供

强有力的、有说服力的回答。

由于这个失误以及其他一些公共关系上的失误，超导超级对撞机（SSC）项目被取消了。美国国会已经给了我们10亿美元来为这台机器挖个洞，随后国会又取消了它，然后再给了我们10亿美元来把这个洞填上。这个国会，以它的智慧一共给了我们20亿美元来挖一个洞然后再填上它，使之成为了历史上最昂贵的洞。

（我个人认为，那个要回答关于上帝这个问题的倒霉物理学家应该这样回答："阁下，我们有可能找到上帝，也有可能找不到上帝，但我们的机器将在人力可及的范围内最大限度地接近上帝，或者不管你把这种神性的存在称作其他什么。它会提示出神的最伟大成就的秘密，也就是创造宇宙的过程本身。"）

[20] 第一条定律说…… 这条定律反过来又意味着，根据已知的物理学定律，号称可以"无代价获利"的"永动机"是不可能的。

[21] I类文明的全部人口可能就像这样，都讲双语，一种本地语，一种全球通用语。 这也同样可以适用于I类文明的文化。在许多第三世界国家中，都存在着精英集团，他们既会讲本地语言，也会讲英语，同时也与最新的西方文化和时尚保持同步。因此，I类文明同时也可能会是双文化的，拥有一种遍及全球的通用文化，并与本地文化和习俗并存。所以，全球文化不一定意味着摧毁地方文化。

[22] 我提醒他说，因为只有行星、恒星和星系，只有它们才是萌生智慧生命的平台…… 可以想象，说不定存在着比III类文明更高级的文化，它会开发利用暗物质，而暗物质构成宇宙中全部物质/能量成分的73%。电视连续剧《星际迷航》（Star Trek）中，那个"Q"就够得上这样一种文明，因为Q的能量威力是跨越星系的。

[23] 我们大脑中的每个神经连接都被一个相应的晶体管取代…… 原则上这一过程可以在你清醒的时候就进行。一边把神经元一点一点地从你大脑中删除，同时又按照它们复制出晶体管网络来取代它们，安放到机器人的脑壳中。由于晶体管所起的作用与被删除的神经元的作用相同，所以你在这个过程中完全清醒。这样，当手术完成以后，你在整个过程中都是清醒的，并发现自己已置身于一个以硅和金属为身体的机器人身体中了。

词汇表

人择原理（anthropic principle）

这个原理是说，大自然的常数是专门为产生生物和智慧生命而设定的。强人择原理得出的结论是，智慧生命的产生，是某种形式的智慧生命对物理常数进行了设定的结果。弱人择原理则只是声称，大自然的常数只有经过设定才可能产生出智慧生命（否则就不会有我们），但是对于这项设定工作是由什么原因或由谁做的，则持开放态度。在实验中我们发现，大自然的常数的确似乎经过了精细的设定，才使生物乃至意识得以产生。有些人相信，这就是存在宇宙造物主的迹象。另一些人则相信，这是存在多元宇宙的迹象。

反引力（antigravity）

它与引力相反，是一种向外推的力，而不是一种向内吸的力。现在我们意识到，可能正是由于存在这种反引力，才使宇宙在时间起始之时膨胀，并导致今天宇宙加速膨胀。然而这种反引力非常之弱，无法在实验室中测得，所以它没有实际价值。反引力也可以由负物质产生（在自然界中还从来没有见到过负物质）。

反物质（antimatter）

它与物质相反。反物质的存在，是由保罗·阿德里·莫里斯·狄拉克（P．A．M．Dirac）第一个预言的，它与普通物质的电荷相反，因此，反质子就有负电荷，而反电子（antielectrons，也叫正电子〔positrons〕）则有正电荷。如果它们相互接触，就会互相把对方湮灭掉。迄今为止，在实验室中生产出来的最复杂的反原子是反氢。令人迷惑不解的是，为什么我们的宇宙主要是由物质，而不是反物质构成的。如果大爆炸所创造的这两种物质是等量的，那么它们应该已经互相湮灭掉，而我们也就不会存在了。

原子击破器（atom smasher）

这是英语中对粒子加速器的通俗叫法，它是一种装置，用来创造以接近光速行进的亚原子能束。最大的粒子加速器是将在瑞士日内瓦附近建造的大型强子对撞机（LHC）。

重子（baryon）

这是一种像质子或中子那样的粒子，遵循强相互作用。重子是一种强子（一种强相互作用的粒子）。我们现在认识到，重子物质只构成宇宙物质中极小的一个零头，与暗物质相比少得可怜。

大爆炸（big bang）

这是指最初创造了宇宙的那次大爆炸，它使无数星系向四面八方飞散。宇宙创造之时，温度极高，物质密度极大。根据WMAP卫星的测定，大爆炸发生于137亿年前。今天所看到的微波背景辐射就是大爆炸的余晖。对于大爆炸，有三项由实验得出的“证据”：星系的红移，宇宙微波背景辐射，元素的核合成。

大坍缩（big crunch）

指宇宙最终的坍塌。如果物质的密度足够大（欧米伽值〔Omega〕大于1），那么宇宙中就有足够的物质使原来的膨胀过程倒转过来，造成宇宙重新坍塌。大坍缩的瞬间，温度升至无穷高。

大冻结（big freeze）

这是宇宙的终结，温度接近绝对零度。我们宇宙的最后状态有可能就是大冻结，因为据信欧米伽值和拉姆达值之和为1.0，因此宇宙才处于膨胀状态之中。但由于没有足够的物质和能量使宇宙膨胀倒转，所以它有可能永远膨胀下去。

黑体辐射（black body radiation）

这是热物体与其环境处于热平衡状态时发出的辐射。如果我们取一个空心物体（一个“黑体”）加热，等它达到热平衡后给它钻上一个小洞，然后观察从小洞释放出来的辐射，这种从小洞中发出的辐射就是黑体辐射。太阳、炽热的烧火棍、熔化的岩浆等都释放出近似的黑体辐射。这种辐射有其特定的频率特炽，很容易用光谱仪测定。充斥宇宙的微波背景辐射遵循着这种黑体辐射公式，从而给出有关大爆炸的具体证据。

黑洞（black hole）

指逃逸速度与光速相等的物体。由于光速是宇宙中的终极速度，这就意味着，一个物体一旦越过事件穹界，就什么也剩不下，无法逃离黑洞。黑洞可以有各种大小。藏匿于星系和类星体中心的星系黑洞可以重达几百万个至几十亿个太阳系质量。恒星黑洞是濒死恒星的遗骸，它们原来可达太阳质量的40倍。这两种黑洞都已经被我们的仪器所找到。根据理论预言，微型黑洞也可能存在，但还没有在实验室中看到它们。

黑洞蒸发（black hole evaporation）

指从黑洞隧道中逸出的辐射。辐射徐缓地从黑洞逸出，这被称为蒸发，其概率非常小，但仍可以算得出。最终，通过量子蒸发流失的黑洞能量多到使黑洞不复存在。但这种辐射太微弱，通过实验无法观察到。

蓝移（blueshift）

由多普勒频移而造成的星光频率提高。如果一颗黄色的恒星朝你自己的方向移动，它的光看起来就会稍微发蓝。在外太空中，蓝移星系很少见。通过引力或使空间变形来压缩两点之间的空间，也可以造成蓝移。

玻色子（boson）

带整数自旋的亚原子粒子，例如质子或推测中存在的引力子。玻色子（boson。原书此处是重子〔baryons〕，可能有误。——译者注）通过超对称作用与费米子达到统一。

膜（brane）

英文“膜”（membrane）的简称。它们可存在于11个维度以下的任何空间。它们是M理论的基础，M理论是最有可能成为万物理论的候选理论。如果我们取一个11维度膜的横截面，那么我们就得到了一个10维度的弦。由此，弦就是一种一位膜。

卡拉比-丘流形（Calabi-Yau manifold）

是一种六维空间，当我们从10维度弦理论中把其中6个维度卷起或紧致化成一个小球，剩下一个四维超对称空间，这样就得到了卡拉比-丘流形。卡拉比-丘成桐空间是多重连通的，也就是说，它们有洞，存在于我们这一个四维空间的夸克代的数量就取决于这些洞。它们在弦理论中之所以重要，是因为这些流形的许多特性，例如它们所具有的洞的数量等，可以决定我们这一个四维宇宙中所存在的夸克的数量。

卡西米尔效应（Casimir effect）

指由两块无限长的无电荷板平行放置而产生的负能量。板外侧的虚拟粒子施加的压力比板内侧的虚拟粒子大，因此两块板互相吸引。这种微弱的效应已在实验室测得。卡西米尔效应有可能被用作驱动时间机器或虫洞的能量，如果这种能量足够大的话。

造父变星（Cepheid variable）

这颗星的亮度以准确、可计算的速率变化，因此在进行天文测量时被用做“标准烛光”。造父变星在帮助哈勃空间望远镜计算星系距离中起到决定性作用。

钱德拉塞卡尔极限（Chandrasekhar limit）

1.4倍太阳质量。超过这一质量，白矮星的引力会巨大到克服电子简并压力，把恒星压垮，产生出超新星。因此，我们在宇宙中观察到的所有白矮星，其质量都小于1.4个太阳质量。

钱德拉**X**射线望远镜（Chandra X-ray telescope）

这是设在外太空的X射线望远镜，可对天空进行扫描，寻找X射线发射源，例如黑洞或中子星。

混沌膨胀说（chaotic inflation）

这是膨胀说的一个版本，是由安德烈·林德提出的，该理论认为膨胀是随机发生的。这就意味着，各种宇宙可以连续混乱地产生出其他宇宙，从而产生出由许多宇宙构成的多元宇宙。混沌膨胀说是解决膨胀导致终结问题的一种途径，因为根据此说，有形形色色的膨胀宇宙在随机产生着。

经典物理学（classical physics）

这是指量子理论出现之前的物理学，是以牛顿的确定性理论为基础的。由于相对论不包含测不准原理，所以它也是经典物理学的组成部分。经典物理学有确定性，也就是说，根据所有粒子在当前的运动状况，我们可以对未来做预测。

封闭类时曲线（closed time-like curves）

这是爱因斯坦理论中所说的一些在时间中倒退的路径。这在狭义相对论中是不允许的，但在广义相对论中，如果我们集中了足够大的正能量或负能量的话，就可以允许。

COBE卫星

COBE是宇宙背景探测者卫星（Cosmic Observer Background Explorer）的英文缩写，它通过测量那团“本初火球”放射出的黑体辐射，对大爆炸理论给出了可能是最具结论性的证据。从那以后，它所得出的结果又由WMAP卫星做了大幅度的改进。

相干辐射（coherent radiation）

这是指互为同相的辐射。相干辐射，就像在激光束中发现的那样，会互相干涉，产生出干涉图形，用以探测运动或位置中的偏差。这对于干涉仪和引力波探测器有用。

紧致化（compactification）

这指的是把空间和时间中不需要的维度卷起来或包起来的过程。由于弦理论存在于10个维度的超空间中，而我们生活在一个四维世界，所以我们必须想办法把10个维度中的6个维度卷曲起来形成一个非常小的球，连原子都不能溜进去。

守恒定律（conservation laws）

这条定律说，某些量值永远不会随时间变化。例如，物质和能量守恒定律说，宇宙中物质和能量的总量是个常数。

哥本哈根学派（Copenhagen school）

这是由尼尔斯·玻尔创立的学派，这个学派声称，必须有一个观察过程使“波函数坍塌”，这样才能确定一个物体的状态。在没有进行观察之前，物体的存在状态有一切可能，哪怕是荒唐可笑的状态。由于我们没有观察到死猫和活猫同时存在，玻尔不得不假定，有一堵“墙”把亚原子世界与我们靠自己的感官观察到的这个日常世界隔绝开来。这种解释受到了质疑，因为它把量子世界与寻常的宏观世界分隔开来，而许多物理学家现在相信，宏观世界也必然遵循量子理论。今天，由于出现了纳米技术，科学家们已经可以对单个原子进行操作，于是我们意识到，并没有分隔两个世界的“墙”。因此，这个“猫”问题现在又再次浮出水面。

宇宙微波背景辐射（cosmic microwave background radiation）

这是从大爆炸时期残余下来的辐射，仍在宇宙中循环，由乔治·伽莫夫（George Gamow）及其工作组1948年首次预言。它的温度是绝对零度之上2.7度。它是由彭齐亚斯（Penzias）和威尔逊（Wilson）发现的，是大爆炸说的最有力“证据”。今天，科学家们在对这种背景辐射内的微小偏差进行测量，以便为膨胀说或其他理论提供证据。

宇宙弦（cosmic string）

这是大爆炸的遗迹。有些规范理论预言，最初大爆炸的一些遗迹可能依然以巨型宇宙弦的形式存在，其规模如星系般大，甚至更大。两个宇宙弦之间的碰撞有可能使时间旅行成为可能。

临界密度（critical density）

这是宇宙膨胀过程中，其密度达到要么面临永恒膨胀，要么面临重新坍缩的平衡状态。临界密度以某种单位度量，以欧米伽值＝1（而拉姆达值＝0）表示，此时宇宙恰好处于大冻结和大坍缩这两种不同前景的平衡点上。今天，由WMAP卫星提供的最佳数据表明，欧米伽值＋拉姆达值＝1，而这与膨胀说的预言是吻合的。

暗能量（dark energy）

这是空寂宇宙的能量。这是由爱因斯坦于1917年首先提出的，然后就被弃置。如今人们知道，这种虚无能量（energy of nothing）是宇宙中物质/能量的主要形式。无人了解它的起源，但它最终可能把宇宙驱入大冻结。暗能量的数量与宇宙的体积成比例。最新数据显示，宇宙中73%的物质/能量以暗能量的形式存在。

暗物质（dark matter）

这是指不可见物质，有重量，但不与光相互作用。暗物质通常是在星系的巨大的晕轮中找到的，它比普通物质重10倍。暗物质可以被间接测到，因为它的引力使星光弯曲，这与玻璃使光弯曲的情况类似。根据最新数据，暗物质构成宇宙中全部物质/能量成分的23%。根据弦理论，暗物质可能由亚原子粒子构成，例如中性子，它代表超弦在较高层次上的振动。

去相干（decoherence）

这是指波不再互为同相的情况。去相干可以用来解释薛定谔之猫悖论。根据多世界说的解释，死猫和活猫的波函数互相去相干，因此不再互动，这样就解决了何以一只猫可以既死了又活着的难题。死猫的波函数和活猫的波函数同时都存在，但由于它们已经去相干，所以不再互相作用。去相干说轻而易举地解释了猫之悖论，而不用任何额外假说，例如“波函数坍塌”之类。

德西特尔宇宙（de Sitter universe）

这是对以指数方式扩张着的爱因斯坦方程的一种宇宙学解。其主项是一个宇宙常数，是它造成了指数般的膨胀。据信，宇宙在最初膨胀时处于德西特尔阶段，而在最近70亿年间又缓慢回落到了德西特尔阶段，造成现在这个加速膨胀中的宇宙。这种德西特尔膨胀的起因现在尚不清楚。

决定论（determinism）

这是一种哲学观，认为一切都是事先确定的，包括未来。根据牛顿力学，如果我们能知道宇宙中所有粒子的速度和位置，那么原则上我们就可以计算出整个宇宙的演进方向。然而，测不准原理已经证明决定论是不正确的。

氘（deuterium）

这是重氢的核子，由质子和中子构成。外太空的氘主要是由大爆炸，而不是由恒星造成的，而且它的数量相对丰富，所以这就使人们可以利用它来推算大爆炸的早期状态。氘的大量存在还可以用来帮助推翻稳恒态宇宙论。

维度（dimension）

这是指我们用以测量空间和时间的坐标或参数。我们所熟悉的这个宇宙有三个空间维度（长、宽、高）和一个时间维度。在弦理论和M理论中，我们需要用10（11）个维度来描述宇宙，其中只有4个可以在实验室中观察到。我们不能看到其他那些维度的原因，要么是因为它们卷缩起来了，要么是因为我们的振动被局限在了一张膜的表面。

多普勒效应（Doppler effect）

指物体在向你接近或离你而去时，波的频率所发生的变化。如果一颗恒星向你移近，则光的频率提高，于是一颗黄色的恒星看起来稍微发蓝。如果一颗恒星离你而去，则光的频率降低，于是一颗黄色的恒星看起来稍微发红。光频率的这种变化也可以通过使两点之间的空间扩张而实现，就像在膨胀着的宇宙中那样。通过测量频率的移动量，就可以计算出一颗恒星离你而去的速度。

爱因斯坦透镜和爱因斯坦环（Einstein lenses and rings）

这是指星光穿过星系之间的空间时，由于受到引力影响而发生的光学失真。遥远的星系团往往看起来像一个环状。爱因斯坦透镜可以用来计算多种量值，包括是否存在暗物质，甚至拉姆达值和哈勃常数值。

爱因斯坦-波多尔斯基-罗森（EPR）试验（Einstein-Podolsky-Rosen〔EPR〕experiment）

这项试验本来是设计用来推翻量子理论的，但实际上却证实了宇宙是“非定域性”的。如果一次爆炸使两个相干光子向两个相反方向飞散，且如果自旋量被保存下来，那么一个光子的自旋就与另一个的自旋正相反。于是，测量一个自旋就可以自动得出另一个自旋，哪怕另一个粒子远在宇宙的另一端。由于这个原因，信息的传播速度比光快。（然而，这种方式无法用于传递有用信息，例如一条短信之类的。）

爱因斯坦-罗森桥（Einstein-Rosen bridge）

把两个黑洞解连接起来而形成的虫洞。起初是要用这种解来代表一个爱因斯坦统一场论中的亚原子粒子，例如电子。但自那以后，它一直被用来描述靠近黑洞中心的空间时间。

电磁力（electromagnetic force）

这是指电与磁之力。当它们振动一致的时候，它们所产生的波可以描述紫外线辐射、无线电、伽马射线等，这些都遵循麦克斯韦方程。电磁力是主宰宇宙的四种力之一。

电子（electron）

这是围绕着原子核的、带负电荷的亚原子粒子。围绕原子核的电子数量决定一个原子的化学特性。

电子简并压力（electron degeneracy pressure）

这是垂死恒星中的排斥力，阻止电子或中子完全坍塌。对于一颗白矮星来说，这意味着，如果它的质量大于1.4个太阳质量，则它的引力会超过这个力。此力是泡利不相容原理造成的，该原理声称，不可能存在量子态完全相等的两个电子。如果白矮星的引力大到足以克服这个力，那么它就会坍塌，然后爆炸。

电子伏特（electron volt）

这是电子电压下降1伏特时所积聚的能量。相比之下，化学反应中涉及的能量一般都以几个电子伏特计，或不到1个电子伏特，而核子反应则可涉及几亿电子伏特。普通化学反应中的能量只有几电子伏特。核子反应所涉及的能量以数百万电子伏特计。今天，我们的粒子加速器可以产生出带有几十亿至几万亿电子伏特能量的粒子。

熵（entropy）

这是无序或混沌状态的度量单位。根据热力学第二定律，宇宙中熵的总量永远增加，这意味着一切事物最终必然恶化。把它应用于宇宙，就意味着，宇宙将趋向于一种最大熵的状态，例如，成为一团接近绝对零度的均匀的气体。要想使小范围内的熵降低（例如在冰箱中），就要额外增加机械能。但即使对于冰箱来说，熵的总量还是增加了（例如，这就是为什么电冰箱的背面是热的）。有些人相信，热力学第二定律最终预示宇宙的死亡。

事件穹界（event horizon）

这是指围绕着黑洞的有去无回之点，通常称为穹界（horizon）。一度曾相信它是个有无穷引力的奇点，但现在证明，它是用来对它进行描述的坐标系的人为产物。

奇异物质（exotic matter）

这是一种具有负能量的新形式的物质（意指负物质。——编者注）。它与反物质不同，反物质有正能量。负物质会有反引力，因此它会向上升起，而不是向下掉落。如果它存在的话，就可以用它来驱动时间机器。然而还从来没有发现这种物质。

太阳系外行星（extrasolar phanet）

这是指围绕着除我们这个太阳之外的恒星旋转的行星。迄今已探测到100多颗这类行星，大约每个月发现两颗。不幸的是，它们当中的大

多数都像木星一样，不利于生命的诞生。在几十年之内，将有人造卫星被派往外太空，寻找像地球一样的太阳系外行星。

假真空（false vacuum）

一种能量不是最低的真空状态。大爆炸的一瞬间，假真空可能是一种完美对称状态，随着能量状态降低，这种对称被打破。假真空状态有其内在不稳定性，因此不可避免地要过渡到能量水平更低的真真空。假真空的概念在膨胀说中起关键作用，根据膨胀说，宇宙起始之时处于德西特尔膨胀状态。

费米子（fermion）

这是指具有半整数自旋的亚原子粒子，如质子、电子、中子和夸克。费米子可通过超对称作用与玻色子达到统一。

微调（fine-tuning）

这是指把某些参数调节到难以置信的精确度。物理学家不喜欢做微调，认为它是一种人为安排，因此努力通过运用物理原理上的解释来消除做微调的必要性，即，要对平坦的宇宙做解释，可以不做微调，而是通过膨胀说来解释；要解决大统一理论（GUT）中的级列问题，可以不通过微调方式，而采用超对称理论来解释。

平坦度问题（flatness problem）

如果接受宇宙是平坦的，就需要进行一项这样的微调。为使欧米伽值大致等于1，那么在发生大爆炸的一瞬间就必然经过了微调使之达到难以置信的精准度。目前的实验表明，宇宙是平坦的，这说明，要么它在发生大爆炸时经过了精确度难以置信的微调，要么宇宙是被在宇宙空间中平摊开后膨胀起来的。

弗里德曼宇宙（Friedmann universe）

爱因斯坦方程式最普通的宇宙学解建立在一个均匀一致无差异的宇宙之上。而弗里德曼宇宙则是一个动态解，宇宙要么经过膨胀最终进入大冻结，要么经过坍塌最终进入大坍缩，要么永远膨胀，这都取决于欧米伽值和拉姆达值。

聚变（fusion）

把质子或其他轻核子结合起来，使它们形成更高级的核子，在此过程中释放出能量。由氢到氦的聚变过程可产生出像我们这颗太阳这种主序星的能量。大爆炸过程中轻元素的聚变使我们有较多的像氦那样的轻元素。

星系（galaxy）

指巨大的恒星集群，通常都有几千亿颗恒星。星系有多种，有椭圆形的、螺旋形的（普通螺旋和棒旋）以及不规则形的。我们这一星系称为银河系。

广义相对论（general relativity）

这是爱因斯坦的引力理论。在爱因斯坦的理论中，引力不再作为一种力，而是被降解为一个几何学的产物，是时空的弯曲度造成了一种错觉，让人觉得好像有一种叫做引力的吸引力量。在实验中已经证实广义相对论的准确率为99.7%以上，预言了黑洞的存在，以及宇宙在扩张中。然而这项理论被应用到黑洞中心或宇宙创立的一刹那时就不起作用了，无法做出有意义的预言。要解释这些现象，必须采用量子理论。

金凤花区域（Goldilocks zone）

使智慧生命成为可能的狭窄参数频带，又称适居带。地球和宇宙“正好”落在这样一个参数频带范围内，使能够构成智慧生命的化学物质得以产生。在宇宙的物理常数和地球的特性方面已经发现了几十个这种金凤花区域。

大统一理论（GUT）（Grand Unified Theory〔GUT〕）

这是一种把弱、强及电磁相互作用（不算引力）统一起来的理论。各种大统一理论的对称性（例如SU（5））把夸克和轻子混合在一起。根据这些理论，质子是不稳定的，会衰变为正电子。大统一理论有内在的不稳定性（除非加进超对称性）。各种大统一理论都没有引力概念（大统一理论中加进引力概念之后就会出现带有无穷数的发散）。

祖父悖论（grandfather paradox）

在有关时间旅行的故事中，一旦改变了过去，现今的一切就成为不可能，于是就产生了这个悖论。如果你回到过去，在你出生之前就把你的父母杀死了，那么你根本就不可能存在。要解决这个悖论，要么就是运用自身一致性原理，这样，你虽然可以回到过去，但你不能人为改变它；要么就应该存在平行宇宙。

引力子（graviton）

这是一种设想出来的亚原子粒子，是引力的量子。引力子的自旋为2。它小到不能在实验室中观察到。

引力波（gravity wave）

爱因斯坦广义相对论中预言的一种引力的波。通过观察相互围绕着

旋转的脉冲星的老化过程，已经间接测量到这种波。

引力波探测器（gravity wave detector）

一种新一代的装置，通过激光束，对引力波造成的微小紊乱现象进行测量。像LIGO观测站这类引力波探测器有可能不久以后发现它们。引力波探测器可用来分析大爆炸之后一万亿分之一秒内释放出的辐射。设在太空的LISA引力波探测器甚至有可能为弦理论或某些其他理论提供出首次实验证据。

霍金辐射（Hawking radiation）

指从黑洞中缓慢蒸发出来的辐射。这种辐射以黑体辐射为形式，有特定的温度，是由于量子粒子可以穿透围绕黑洞的引力场而造成的。

杂化弦理论（heterotic string theory）

最具物理实际意义的弦理论。它的对称群为E（8）×E（8），大到足以容纳标准模型的对称性。用M理论来解释的话，可以显示杂化弦其实等同于其他4种弦理论。

级列问题（hierarchy problem）

各种大统一理论中低能物理学与普朗克长度上的物理学之间产生的一种恼人的混合，会使这些理论成为无用的理论。通过引入超对称性可以解决级列问题。

希格斯场（Higgs field）

从假真空到真真空的过渡过程中，打破各种大统一理论的对称性的场。各种希格斯场是大统一理论中物质的起源，也可以用它来驱动膨胀。物理学家希望大型强子对撞机（LHC）最终能够找到希格斯场。

穹界（horizon）

这是指人的目力所及的最远处。围绕着黑洞有一片奇异的区域，称为史瓦西半径，是个有去无回之点。

穹界问题（horizon problem）

这指的是为什么不论我们朝哪个方向看，宇宙都是如此均匀这样一个谜。甚至夜空中遥相对望的地平线两端的区域也是均匀的。这是奇怪的现象，因为在时间起始之初，它们不可能有热接触（因为光的速度是确定的）。如果大爆炸是在一个微小的均匀面上发生的，然后膨胀成为今天的宇宙，那么就可以解释得通了。

哈勃常数（Hubble's constant）

这是指红移星系的速度除以它的距离。哈勃常数用于测量宇宙膨胀的速率，它的倒数与宇宙的年龄成大致相关关系。哈勃常数越低，宇宙的年龄越大。WMAP卫星把哈勃常数定在每百万秒差距71千米/秒，或者说每百万光年21.8千米/秒，从而结束了长达几十年的争议。（每百万秒差距相当于3.26百万光年。——译者注）

哈勃定律（Hubble's law）

这是说，星系离地球越远，它的移动速度就越快。这是1929年由埃德温·哈勃发现的。这项观察与爱因斯坦的膨胀宇宙理论相吻合。

超空间（hyperspace）

这是指超过四个维度的空间。弦理论（M理论）预言，应该有10（11）个超空间维度。目前为止，还没有实验数据表明存在这些高维度，也许因为它们太小，不能被测量到。

膨胀理论（inflation）

这项理论说，宇宙在诞生之时经历了难以置信的超阈限扩张。膨胀理论可以解决平坦度、磁单极子以及穹界问题。

红外线辐射（infrared radiation）

这是频率稍低于可见光的热辐射或电磁辐射。

干涉（interference）

这是指两种在“相”或频率方面稍有不同的波之间的混合，产生出别具特征的干扰图像。通过对这一图像进行分析，就可以探测到两种波之间非常细微的差别。

干涉测量法（interferometry）

这是利用光波干涉而探测来自两个不同光源的光波之间的细微差别。干涉测量法可以用来测量是否存在引力波，以及其他一般情况下很难探测到的对象。

同位素（isotope）

这是一种质子数量相同，但中子数量不同的化学元素。同位素的化学特性相同，但重量不同。

卡鲁扎-克莱恩理论（Kaluza-Klein theory）

这是以五个维度表达的爱因斯坦理论。当把它降解为四个维度时，可以发现与麦克斯韦的光理论结合在一起的普通爱因斯坦理论。因此，

这是光与引力之间第一种非平凡统一。如今，卡鲁扎-克莱恩理论已被纳入弦理论。

克尔黑洞（Kerr black hole）

这是爱因斯坦方程式的一个精确解，代表一个有自旋的黑洞。黑洞会坍塌为一个奇异环。从这个环中掉落的物体只会受到有限的引力，而且从原则上来讲，有可能穿过这个环进入一个平行宇宙。克尔黑洞有无限多个平行宇宙，但是一旦你进入其中之一就不可能再回来。迄今还不知道克尔黑洞中心的虫洞到底有多稳定。要想尝试作一次穿越克尔黑洞的航行，存在若干理论和实践上的困难。

拉姆达值（Lambda）

这是一个宇宙常数，用以度量宇宙暗物质的数量。迄今已有的数据表明欧米伽值＋拉姆达值＝1，这与膨胀说或平行宇宙说的预言相吻合。人们一度认为拉姆达值为零，现在人们知道，它决定着宇宙的最终命运。

激光（laser）

这是一种用来产生相干光辐射的装置。英文中激光“laser”是“受激辐射光放大（Light Amplification through Stimulated Emission of Radiation）”的缩写。从原则上来讲，唯一能对激光光束上所承载能量形成限制的是发射激光的材料。

轻子（lepton）

这是一种弱相互作用粒子，如电子和中微子及其较高级的代，例如μ介子。物理学家相信，所有物质都由强子和轻子（强相互作用粒子和弱相互作用粒子）构成。

LHC（Large Hadron Collider）

这是指大型强子对撞机，是一种粒子加速器，用以产生强大的质子束，它设在瑞士日内瓦。该装置几年之内最终建成以后，将以自大爆炸以来未曾见过的强大能量使粒子对撞。人们希望，2007年LHC投入使用以后将能找到希格斯粒子和超粒子。

光年（light-year）

光在一年时间内达到的距离，大约为5.88万亿英里（9.46万亿千米）。最近的恒星大约位于4光年以外，银河系的直径大约为100000光年。

LIGO观测站（Laser Interferometry Gravitational-Wave Observatory）

这是英文“激光干涉引力波观测站”的缩写，位于华盛顿州和路易斯安那州，是世界上最大的引力波探测器，2003年投入使用。

LISA卫星（Laser Interferometry Space Antenna）

这是英文“激光干涉太空天线”的缩写，是一组太空卫星，共3颗，利用激光光束测量引力波。几十年后把它发射升空后，它的灵敏度将足以确认或推翻膨胀理论，乃至弦理论。

MACHO（Massive Compact Hole Object）

这是英文“大质量致密晕轮天体”的缩写。这是些暗恒星、行星和小行星，难以用光学望远镜探测到，可能构成暗物质中的一部分。最新数据表明，暗物质总体来说都是非重子性质的，也并非由大质量致密晕轮天体（MACHOs）构成的。

多世界理论（many-worlds theory）

这是一种量子理论，声称一切可能的量子宇宙都可以同时存在。该理论声称，宇宙在每个量子交汇点上分裂一次，以此解释了薛定谔之猫问题，因为这样，猫可以在一个宇宙中活着，而在另一个宇宙中已死去。近来越来越多的物理学家表示支持多世界理论。

麦克斯韦方程（Maxwell's equation）

这是有关光的基本方程，由詹姆斯·克拉克·麦克斯韦于1860年首次写出。这些方程显示，电场和磁场可以互相转换。麦克斯韦证明，这些场以一种波样运动互相转换，产生出以光速传播的电磁场。麦克斯韦进而大胆猜测，这就是光。

膜（membrane）

以各种维度存在的延展表面。零位膜是个点状粒子。一位膜是一根弦。二位膜是一片膜。膜的概念是M理论中的关键特点。可以把弦视为一片有一个维度被压缩了的膜。

微波背景辐射（microwave background radiation）

大爆炸最初辐射的遗迹，温度大约为绝对零度之上2.7度（K）。这种背景辐射中的细微差异为科学家提供了宝贵的数据，可以用来对多种宇宙学理论进行验证或排除。

磁单极子（monopole）

磁场的单独一个极。磁体通常都有不可分开的北极和南极，因此从来未能在实验室中确切看到过磁单极子。大爆炸之时按理说应产生了大量的磁单极子，但我们今天一个也看不到，也许在膨胀过程中它们的数

量被稀释了。

M理论（M-theory）

弦理论中的最先进版本。M理论存在于11个维度的超空间中，那里可以有二位膜和五位膜。可以有5种方法把M理论降解为10个维度，从而带给我们5种已知的超弦理论，现在知道它们其实就是同一种理论。M理论的全套方程迄今完全无人知晓。

多连通空间（multiply connected space）

在这种空间中，套索或活套无法被连续收缩为一个点。举例来说，环绕在面包圈表面的活套不能被收缩为一个点，因此面包圈就是多连通的。虫洞就是典型的多连通空间，所以绕在虫洞脖子上的套索不能被抽紧。

多元宇宙（multiverse）

许多宇宙。这一概念一度被认为带有高度的猜测性，如今被看做是理解早期宇宙的关键概念。有若干形式的多元宇宙，都密切相关。任一量子理论都有一个多元宇宙的各种量子态。应用到宇宙上，这就意味着存在着无穷数量的平行宇宙，互相分离。膨胀理论引入多元宇宙说，用以解释膨胀的过程是如何开始并结束的。弦理论引入多元宇宙说，因为它提供了大量的可能的解。在M理论中，这些宇宙实际可以互相碰撞。还有一些人出于哲学上的需要，引入多元宇宙说，来解释人择原理。

μ介子（muon）

缪介子，一种与电子完全相同的亚原子粒子，但质量要大得多。它属于标准模型中的第二种冗余代。

负能量（negative energy）

这种能量小于零。物质有正能量，引力有负能量，这二者在许多宇宙模型中都可以互相抵消。在量子理论中，由于有卡西米尔效应和其他一些效应，则允许有一种不同的负能量，可以用做一种驱动力，使虫洞稳定。负能量在创造和稳定虫洞过程中有用。

中微子（neutrino）

这是一种飘忽不定的、几乎没有质量的亚原子粒子。它们对其他粒子的反应非常弱，可以穿透若干光年厚的铅而不与任何东西发生相互作用。它们是从超新星中大量释放出来的。中微子的数量大到把围绕坍缩中的恒星周围的气体加热的程度，从而导致超新星的爆发。

中子（neutron）

这是一种中性的亚原子粒子，与质子一起构成原子核。

中子星（neutron star）

这是指坍塌的恒星，由致密的中子构成。它的直径通常为10～15英里（16～24千米）。当它自转的时候，它以不规则方式释放出能量，造成脉冲星。它是超新星的遗骸。如果中子星相当大，大约如3个太阳质量那样大，那么它就有可能坍塌为一个黑洞。

核合成（nucleosynethesis）

从大爆炸时开始的以氢创造高等级核子的过程。这样，人们就可以获得比较丰富的各种可以在大自然中找到的元素。这是大爆炸的三个“证据”之一。高等元素是在恒星中心形成的。超过铁以上的元素都是在超新星爆发中炮制成的。

核子（nucleus）

原子中微小的核心，由质子和中子构成，直径大约10^{-13}厘米。核子中质子的数量决定了围绕着核子的壳层中有多少电子，这又进而决定了原子的化学特性。

奥尔贝斯悖论（Olbers’ paradox）

这个悖论提出的问题是，夜空为什么是黑色的。如果宇宙是无穷大的，而且是均匀的，那么我们肯定会接收到无穷数量的恒星发出的光，因此天空应该是白的，这与我们观察到的实际情况不相符。大爆炸和恒星的有限寿命解释了这个悖论。大爆炸使从宇宙深空到达我们眼睛的光线截断了。

欧米伽值（Omega）

这是测量宇宙中物质的平均密度的参数。如果拉姆达值 = 0，欧米伽值小于1，那么宇宙将永远膨胀，直到进入大冻结。如果欧米伽值大于1，那么就有足够的物质，把扩张过程反转过来，最后进入大坍缩。如果欧米伽值 = 1，那么宇宙就是平的。

微扰理论（perturbation theory）

物理学家利用微扰理论，通过求出无穷数量的小修正之和的方式，解决量子理论问题。弦理论中几乎所有的工作都是通过弦微扰理论完成的，但有一些最为有趣的问题则超出了微扰理论的能力，例如超对称性破缺。于是，我们就需要有非微扰方式来解弦理论，但目前这种方式还没有以任何系统的方式真正出现。

光子（photon）

光的粒子或量子。光子是爱因斯坦首次提出的，用以解释光电效应，即，把光照射到金属上时会弹射出电子。

普朗克能量（Planck energy）

100

19亿电子伏特。这是大爆炸的能量，此时所有的力都统一为单独一个超力。

普朗克长度（Planck length）

10

-33厘米。这是在大爆炸时期的尺度，那时引力与其他力的强度一样。在这个尺度上，空间时间变成“泡泡状”，真空中有微小的泡泡和虫洞出现并消失。

10的幂（powers of ten）

科学家用来标示极大或极小数字的一种简便写法。例如，10^{n}就等于1之后跟着n个零。1000就是10^{3}。同样，10^{-n}就等于10^{n}的倒数，即，0.000…001，有n-1个零。同样，千分之一就是10^{-3}或0.001。

质子（proton）

这是一种有正电荷的亚原子粒子，与中子一起构成原子核。它们很稳定，但大统一理论预言，在经过很长时期以后，它们有可能衰变。

脉冲星（pulsar）

这是旋转中的中子星。由于它不规则，所以它就像一座旋转着的灯塔，看起来像是一颗眨眼睛的恒星。

量子涨落（quantum fluctuation）

相对牛顿或爱因斯坦经典理论的一些微小变化，是由测不准原理造成的。宇宙本身可能就是从子虚乌有中的量子涨落（超空间）演化出来的。大爆炸中的量子涨落造就了今天的星系团。几十年来一直阻碍形成统一场理论的量子引力问题，在于引力理论的量子涨落具有无穷性，而这是无法解释的。迄今为止，只有弦理论能消除这些无穷的引力量子涨落。

量子泡沫（quantum foam）

这是指在普朗克长度的层面上，空间时间产生的微小的像泡沫一样的扭曲。如果我们能够窥探到普朗克长度上的时空结构，那么我们就会

看到那里有许多极小的泡泡和虫洞，看起来像泡沫一样。

量子引力（quantum gravity）

一种遵循量子原理的引力形式。把引力量化的时候，我们会看到一个引力包，称为引力子。把引力量化的时候，我们通常发现它的量子涨落是无穷的，从而使这个理论变得毫无用处。目前，弦理论是唯一能够消除这些超位数的。

量子跃迁（quantum leap）

这是指物体状态发生突然变化，是经典物理学所不允许的。原子内部的电子在轨道之间进行量子跃迁，在此过程中或释放光或吸收光。宇宙有可能是从子虚乌有中发生了一次量子跃迁，从而产生了我们今天的宇宙。

量子力学（quantum mechanics）

这是指1925年提出的完整的量子理论，取代了普朗克和爱因斯坦的“老的量子理论”。旧的量子理论汇集了各种旧的经典概念和较新的量子概念。与此不同，量子力学以波动方程和测不准原理为基础，代表了与经典物理学的重大决裂。实验室中还从来没有发现不符合量子力学的现象。该理论在今天的最新版本称为量子场论，它把狭义相对论和量子力学结合在一起。然而，要为引力建立一个完整的量子力学理论是超乎寻常地困难。

量子理论（quantum theory）

这是亚原子物理的理论。它是有史以来最成功的理论之一。量子理论加上相对论构成基础层面上全部物理学知识的总和。粗略而言，量子理论是建立在三项原则之上的：（a）能量以称做量子的离散包形式存在；（b）物质是以点状粒子为基础的，但找到它们的概率则是由波来显示的，而波则遵循薛定谔的波动方程；（c）要使波坍塌并确定一个物体的最终状态，需要进行观测。量子理论的基本原理与广义相对论的基本原理是倒转过来的，广义相对论有确定性，并且是建立在光滑表面上的。如何将相对论与量子理论结合起来，是今天物理学面临的最大难题之一。

夸克（quark）

一种构成质子和中子的亚原子粒子。三个夸克构成一个质子或中子，一个夸克和一个反夸克组成的一对构成一个介子。夸克本身是标准模型的组成部分。

脉冲星（quasar）

这是准恒星天体。它们是在大爆炸之前不久形成的巨大星系。在它们的中心有巨大的黑洞。我们今天看不到脉冲星，正好推翻了稳恒态理论，该理论声称，今天的宇宙与几十亿年以前没有什么不同。

红巨星（red giant）

红巨星是燃烧氦的恒星。当一个像我们这颗太阳一样的恒星耗尽了其氢燃料以后，它就开始膨胀，形成燃烧氦的红巨星。这意味着，大约50亿年以后，当太阳变成红巨星时，地球最终在大火中死去。

红移（redshift）

遥远星系在多普勒效应下发红或光频减弱，说明它们正在离我们而去。空寂的太空在膨胀时也会发生红移，例如扩张中的宇宙。

相对论（relativity）

这是爱因斯坦的理论，包括狭义相对论和广义相对论。前一种理论研究光以及平的四维时空。它的根本原理是，光在所有的惯性坐标系中都保持一样。后一种理论研究的是引力和弯曲的空间。它的根本原理是，引力参考系和加速参考系是没有区别的。相对论和量子理论结合起来就代表全部物理学知识的总和。

薛定谔之猫悖论（Schrödinger's cat paradox）

这个悖论提出的问题是，猫是否可能同时既已死去又还活着。根据量子理论，装在盒子里的猫有可能同时既是死的又是活的，至少在我们对其进行观察之前是这样，这听起来荒唐。但是根据量子力学，在我们真正进行观测之前，我们必须把猫的波函数的所有可能状态（死的、活的、正在跑着、睡着、正在吃东西等）都考虑进去。要解决这个悖论有两种主要办法，即，要么假定意识决定存在，要么假定存在着无穷数量的平行宇宙。

史瓦西半径（Schwarzschild radius）

这是指事件穹界的半径，或者说是黑洞的有去无回点。对于太阳来说，史瓦西半径大致为2英里（3.22千米）。一颗恒星一旦被压缩到其事件穹界以内，它就坍塌成一个黑洞。

单连通空间（simply connected space）

在这种空间中，任何套索都可以被持续收缩成一个点。平坦的空间是单连通的，而面包圈或虫洞则不是。

奇点（singularity）

这是一种无穷引力的状态。广义相对论预言，在非常普通的条件

下，奇点存在于黑洞中心和宇宙诞生之时。在这些情况下，广义相对论不再起作用，不得不引入量子引力理论。

狭义相对论（special relativity）

爱因斯坦在1905年提出的理论，其基础是光的速度恒定。依据这条原理，你运动的速度越快，时间就变得越慢，质量就越增加，距离就越缩短。同时，物质和能量由$E = mc2$这个等式关联起来。狭义相对论所产生的结果之一就是原子弹。

光谱（spectrum）

光中的各种不同颜色或频率。通过对星光的光谱进行分析，可以确定恒星主要是由氢和氦构成的。

标准烛光（standard candle）

这是指一种标准化了的光源，适用于全宇宙，供科学家用以计算天文距离。标准烛光越暗，说明它离得越远。一旦知道标准烛光的亮度，我们就可以计算它的距离。今天所采用的标准烛光是Ia型超新星和造父变星。

标准模型（Standard Model）

这是有关弱相互作用、电磁相互作用和强相互作用的最成功的量子理论。它的基础是夸克的SU（3）对称、电子和中微子的SU（2）对称和光的U（1）对称。它汇集了一大批粒子：夸克、胶子、轻子、W玻色子和Z玻色子，以及希格斯粒子。它不能成为万物理论的原因有三：（a）它对引力只字未提；（b）它有19个必须通过手工确定的参数；（c）它有三个完全相同的夸克和轻子代，是多余的。标准模型可以被纳入一种大统一理论（GUT），乃至最终纳入弦理论，但目前对这两种理论还没有任何实验证据。

稳恒态理论（steady state theory）

这种理论说，宇宙没有开始，它一边膨胀一边不断地产生出新的物质，以此保持同样的密度。后来由于若干原因，这项理论被否定了，例如，发现了微波背景辐射，以及发现了类星体和星系各自不同的演化阶段。

弦理论（string theory）

这种理论的基础是微小的、振动着的弦，它们的每种振动方式就对应于一种亚原子粒子。这是唯一能把引力与量子理论结合在一起的理论，从而使它成为万物理论的首要候选理论。它只有在10个维度中才能从数学上自圆其说。它的最新版本是M理论，是以11个维度定义的。

强核作用力（strong nuclear force）

这是把核子绑缚在一起的力。这是四种基本作用力之一。物理学家采用量子色动力学来描述强相互作用力（以符合SU（3）对称性的夸克和胶子为基础）。

超新星（supernova）

超新星是爆发中的恒星。它们的强度非常高，有时其光芒可以盖过一个星系。有许多种超新星，其中最有趣的是Ia型超新星，它们都很相像，可以用来当做测量星系距离的标准烛光。Ia型超新星的形成，是由于正在老化的白矮星从其伴星处偷取了物质，使其超越了钱德拉塞卡尔极限，因此突然坍塌，随后爆发。

超对称性（supersymmetry）

这是指可以使费米子和玻色子互换的对称性。这一对称性解决了级列问题，还帮助消除超弦理论中任何剩余的奇异性。这种对称性意味着，标准模型中的所有粒子都必须有伴子，称为超粒子，迄今还从未在实验室中看到过它们。超对称性原则上可以把宇宙中所有的粒子统一到单一的一种物体中。

对称性（symmetry）

物体重新组织或安排后仍然保持不变或与原来一样的特性。不论以多少个60度去旋转雪花，它都保持不变。圆圈以任何角度旋转都保持不变。对夸克模型的三个夸克重新组织之后，夸克模型能保持不变，这就是SU（3）对称性。弦在超对称性及其表面共形形变下保持不变。对称性在物理学中起到关键作用，因为它们帮助消除量子理论中的多种奇异性。

对称性破缺（symmetry breaking）

量子理论中的对称性破缺。人们认为，在大爆炸之前，宇宙是完美对称的。大爆炸之后，宇宙冷却并老化，因此四种基本作用力以及它们的对称性出现了破缺。今天，宇宙已经破缺得惨不忍睹，所有这些作用力都彼此分离。

热力学（thermodynamics）

关于热的物理学。有三项热力学定律：物质与能量守恒，熵永远增加，以及不可能达到绝对零度。热力学在理解宇宙怎样死去方面起到关键作用。

隧穿（tunneling）

这是粒子穿透牛顿力学所不允许的障碍的过程。放射性阿尔法粒子的衰变就是因为隧穿，隧穿概念是量子理论的产物。宇宙本身可能就是由隧穿创造的。曾有猜测，也许可以在各个宇宙之间进行隧穿。

I、II、III类文明（type I，II，III civilizations）

由尼古拉·卡尔达舍夫（Nikolai Kardashev）提出的一种分类方法，把外太空的文明按照它们所产生的能量进行排位。这种分类对应于一个文明是否能够掌握整个行星、整个恒星还是整个星系的能量。目前，太空中还没有发现存在其中任何一种的证据。我们自己的文明可能相当于一个0.7类文明。

Ia型超新星（type I a supernova）

经常被用作测距的标准烛光的超新星。这种超新星在双星体系中产生，其中，白矮星缓慢地从伴星中抽取物质，导致它超出1.4个太阳质量的钱德拉塞卡尔极限，使之爆炸。

测不准原理（uncertainty principle）

这项原理说，你不可能以无穷精确度既知道一个粒子的位置又知道它的速度。粒子位置的不确定性乘以粒子动量的不确定性，必然大于或等于普朗克常数除以2π。测不准原理是量子理论中最根本的部分，它把概率概念引入宇宙。由于有了纳米技术，物理学家可以随心所欲地对单个原子进行操作，从而可以在实验室中对测不准原理进行测试。

统一场论（unified field theory）

这是爱因斯坦所探寻的一种理论，它可以把一切自然力统一到单一一个连贯的理论之中。目前，它的首要候选理论是弦理论或M理论。爱因斯坦原来相信，他的统一场论可以把相对论和量子理论吸纳到一个更高级的、不需要概率的理论中。然而弦理论是个量子理论，因而需要用到概率。

真空（vacuum）

这是指空无一切的空间。但是根据量子理论，空无一切的空间中充斥着虚拟的亚原子粒子，它们的寿命只延续1秒钟都不到。真空也是指一个系统的最低能量状态。据信，宇宙是从一种假真空状态发展到今天的真真空状态的。

虚拟粒子（virtual particles）

这是指在真空中瞬间闪现又旋即消失的粒子。它们不符合已知的守恒定律，但由于测不准原理的作用，只持续很短一段时间。过后，守恒定律又作为真空中的一种平均状态继续起作用。如果真空中加入了足够

的能量，虚拟粒子有时会变成真正的粒子。从微观角度上来看，这些虚拟粒子可能包括虫洞和婴宇宙。

波函数（wave function）

伴随着每一个亚原子粒子的波。它是对概率波的数学描述方式，用以确定任何粒子的位置和速度。薛定谔是第一个为电子的波函数写出方程式的人。在量子理论中，物质是由点状粒子构成的，但波函数则给出找到这种粒子的概率。后来狄拉克（Dirac）提出了一种波动方程，它结合了狭义相对论。目前，包括弦理论在内的所有的量子物理学都是建立在这些波的概念之上的。

弱核作用力（weak nuclear force）

这是指核子内部的力，是它使核衰变成为可能。这种力不够强大，不能把核子聚在一起，因此核子会散开。弱作用力对轻子（电子和中微子）起作用，由W玻色子和Z玻色子承载。

白矮星（white dwarf）

这是一种到了寿命最后阶段的恒星，是由氧、锂及碳等低等元素构成的。它们是在红巨星耗尽了其氦燃料并坍塌之后形成的。它们一般如地球般大小，重量不超过1.4个太阳质量（否则就会坍塌）。

WIMP（Weakly Interacting Massive Particle）

英文“弱相互作用重粒子”的缩写。人们猜测，宇宙中大部分的暗物质都是由它们构成的。最有希望被确认为是弱相互作用重粒子（WIMPs）的，是弦理论所预言的超粒子。

虫洞（wormhole）

这是指两个宇宙间的通道。数学家们称这些空间为“多连通空间”，即，在这种空间中，不能把套索收缩成一个点。现在还不清楚，有没有可能穿过虫洞而不破坏其稳定性或让人活着穿过它。

不必逃逸我们的宇宙
（向读者致谢）

《平行宇宙》中文版自2008年5月面世以来，得到众多挚爱高端科学图书读者的厚爱，对本书的网评、报评和书评很多，如华中科技大学物理学院的杨建邺教授，网友优游卒岁、Finding、上杉、into_the_forest、三无人员、gerry、观是音、ole等等数不胜数的高品位读者。亦有很多深藏不露的高端读者大隐于高校、院所和民间，如吴岩、杨鹏等等。

值得一提的是四年前来自北京的一位读者电话（很抱歉忘了问他的大名），他在西单附近的一家小书店偶然看到《平行宇宙》，阅读后倍感高兴，抑制不住内心的快乐，辗转将电话接到我的办公室，聊述阅读的感受，并慎重叮嘱一定要多出这样的好书。

杨建邺教授亦是亲书笔墨，致信十分赞同出版值得留存、值得反复阅读的图书，并将洋洋大观的书评发往《现代物理知识》杂志发表，非常希望有更多的年轻学子能阅读《平行宇宙》，以助其思想展翅于浩瀚的宇宙之上。（不止于此，他还发表了热情洋溢的《量子理论》《物理学的未来》《终极理论》书评，并强烈推荐引进《科学的火星人》。）

由此，让我想起了ole、观是音等的网评，他们既为《平行宇宙》的品质感所叹服，亦为中文版的瑕疵而叹息，遗憾之情溢于言表，辛辣之手不辞劳苦地将书中编校之不足一一列举，足见阅读之精深、知识之渊博、品位之雅正、爱书之心切，还有很多这样的超一流读者，让我很受“摧残”又很受感动，感谢与歉疚之情不由自主地像超弦一般杂合在了一起。

当然，into_the_forest、优游卒岁、Finding等的网评也十分中肯和令人鼓舞，如数家珍般地细述了《平行宇宙》的种种宏大与精微、前沿与玄奥的奇妙之处。然而，将《平行宇宙》高比《时间简史》觉得是极度赞誉了，其实很难高比的。《时间简史》乃巅峰，《平行宇宙》或许可能接近山顶。

同时，还要说说《科学时报》，他们在《平行宇宙》出版后很短的时间内就对本书和“科学可以这样看丛书”作了颇有深度和见地的详尽报道，可见它的锐度和执着。（还有豆瓣、新浪、百度、当当、卓越、京东……）

故而在此向所有热爱、呵护和关注《平行宇宙》的读者致以诚挚的谢意，并对中文第一版中存在的瑕疵向读者表达深深的歉意。

现在，您看到的《平行宇宙》是重新修订的中文版。本书原版没有改动，改正的是中文一版中主要由两个原因给读者阅读带来的不便：当初为了让读者尽早读到中文版，采用的是翻译原出版社定稿的Word文本，那时原版书尚未面世，且以为是根据最终版在译，原版书到手后虽然与定稿Word文本作了比对调整，结果还是出现了少量内容与原版书的些许偏差。在对中文译稿进行编辑加工时受限于六七年前的诸多主客观条件，留存下了人名、术语名、语句等欠贴切之处，诸如高-Z超新星（高红移超新星）、MACHOs（重的紧凑的光环物体）（大质量致密晕轮天体）、麦克佩斯（麦克白）等等，这也是将英文名附在中文名后的原因，期望有助于读者顺畅了解加来道雄的原意，但或许会影响中文阅读的流畅感。

在《平行宇宙》中文二版中对读者、译者和编者发现的瑕疵作了改正。但有些人名或术语未作改动，如：海森堡（海森伯）、测不准原理（不确定性原理或不可测原理）等，主要基于这些人名、术语已经约定俗成且不影响阅读理解，或许不少读者更习惯于海森堡、测不准原理等。也有极少数英文缩写未找到合适的中文对应，如ROSEBUD、EDELWEISS等，好在基本不会影响阅读，就留存下来了。还有如“年表保护猜想”根据前后文似乎优于“时序保护猜想”，因而选用了前者；再如《万千之路》（*All the Myriad Ways*）似乎比《那所有数不清的路》简洁。凡此种种，赘述二三。

《平行宇宙》中文二版期望继续得到您的挚爱、呵护、斧正，其中应该还会有一些疏漏之处，或许不多了，仍然希望读者不吝指正。

“科学可以这样看丛书”是我们长期出版的项目，已经出版8种图书（见果壳书单），今后每年都会有三五种新书面世，如2014年的《平行宇宙·新版》、《终极理论·二版》、《达尔文的黑匣子》、《物种之神》、《消灭秘密机器》，2015年的《暴力解剖》、《心灵的未来》、《领悟我们的宇宙》（精装12开）等，初衷是借用好的科学图书有助于国人涉猎新知，永葆新锐鲜活的创造力，尤其是学生读者能从书中品尝到一些与教科书不一样的东西，或许可以勇敢地质疑科学泰斗们被众人奉为真理的思想与理论，或许顺带着让自己的素质能力与应试能力并行不悖。

高级科普的翻译是一件既有非凡意义，又有挑战性，还会有成就感的工作。真诚地欢迎对科学图书有兴趣、有感觉的读者朋友参与其中，不妨尝试一下读者＋译者的乐趣。可随时（QQ：553017398）建立联系。谢谢！

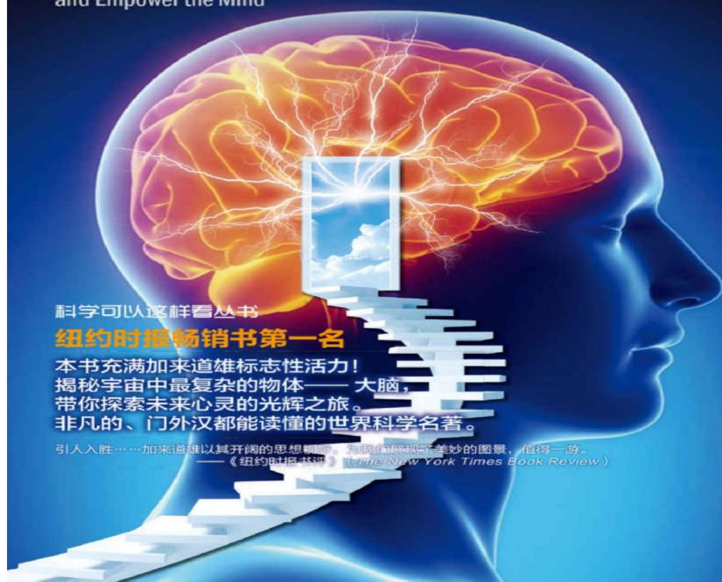
编者2014年3月于重庆



作者简介

加来道雄（Michio　Kaku）博士，美籍日裔人，纽约城市大学研究生中心的理论物理学教授，世界著名的物理学家，著名的科学畅销书作者。他的著作都广受赞誉，《构想未来》《超弦论》《超空间》和《平行宇宙》，均被《纽约时报》和《华盛顿邮报》提名为当年的最佳科学读物

之一。他主持着一档全美国联网的科学广播节目，还在《晚间热线》《60分钟》《早安美国》以及《拉里·金直播在线》之类的全美国性电视节目中亮相。



The Future of the Mind
心灵的未来
《平行宇宙》一书的作者
[美] 加来道雄 (Michio Kaku) 著
伍义生 付满 谢琳琳 译
重庆出版集团 重庆出版社
果壳文化传播公司
理解、增强和控制心灵的科学探寻
The Scientific Quest to Understand, Enhance, and Empower the Mind
科学可以这样看丛书
纽约时报畅销书第一名
本书充满加来道雄标志性活力！
揭秘宇宙中最复杂的物体—— 大脑，
带你探索未来心灵的光辉之旅。
非凡的、门外汉都能读懂的世界科学名著。

心灵的未来

〔美〕加来道雄（Michio Kaku） 著

重庆出版社

版权页

Copyright © 2014 by Michio Kaku

This edition arranged with Stuart Krichevsky Literary Agency through

Andrew Nurnberg Associates International Limited.

Simplified Chinese edition copyright © 2014 by Chongqing Publishing House Co., Ltd.

All rights reserved.

版贸核渝字（2014）第110号

图书在版编目(CIP)数据

心灵的未来/（美）加来道雄著；伍义生，付满，谢琳琳译.　—重庆：重庆出版社，2014.12（2020.8重印）

（科学可以这样看丛书/冯建华主编）

书名原文：The Future of the Mind

ISBN 978-7-229-09011-1

I.①心…　II.①加…　②伍…　③付…　④谢…　III.①生物物理学—普及读物　IV. ①Q6-49

中国版本图书馆CIP数据核字（2014）第283062号

心灵的未来

The Future of the Mind

〔美〕加来道雄（Michio Kaku）著　伍义生　付　满　谢琳琳 译

责任编辑：连　果

审　　校：冯建华

责任校对：何建云

封面设计：何华成

重庆出版集团　重庆出版社　出版

重庆市南岸区南滨路162号1幢　邮政编码：400061　http：//www.cqph.com

重庆出版集团艺术设计有限公司制版

重庆市国丰印务有限责任公司印刷

重庆出版集团图书发行有限公司发行

E-MAIL:fxchu@cqph.com　邮购电话：023-61520646

全国新华书店经销

开本：720mm×1 000mm　1/16　印张：21.5　字数：300千

2015年1月第1版　2020年8月第1版第7次印刷

ISBN 978-7-229-09011-1

如有印装质量问题，请向本集团图书发行有限公司调换：023-61520678

版权所有　侵权必究

目录

致　谢
引　言
第一部分　心灵和意识
1　揭开心灵
2　意识——物理学家的观点
第二部分　心胜于物
3　心灵感应：思维之海中的沧海一粟
4　心灵遥感：意念控制事物
5　可定制的记忆和思想
6　爱因斯坦的大脑与智力提升
第三部分　改变的意识
7　在你的梦中
8　心灵能被控制吗？
9　发生改变的意识状态
10　人工心灵和硅意识
11　对大脑进行反向工程
12　未来：物质以外的心灵
13　作为纯能量的心灵
14　外星人的心灵
15　结　语
附　录
注释
返回总目录

Advance Praise for The Future of the Mind

《心灵的未来》一书的发行评语

“引人入胜……加来道雄以其开阔的思想视界，为我们展现了美妙的图景，值得一游。”

——《纽约时报书评》专栏（The New York Times Book Review）

“让人着迷的……非凡的发现……一场让人兴奋的冲刺跑，从心灵感应的研究到拥有147 456个处理器、用来模拟仅占大脑4.5%的突触和神经元的蓝色基因计算机。”

——《自然》（Nature）

“［本书］充满加来道雄标志性的活力……让人着迷……虽然他探讨了机器化身和智能机器人，但没有任何人造物可以拥有他非凡魅力的万分之一。”

——《独立报》（The Independent）

“一部难以想象的大脑可能性研究著作……一部在瞬息万变的时代对前沿科学进展的清晰可读的指南。”

——《每日电讯报》（The Telegraph）

“在这趟广阔、启迪人心的心灵之旅中，理论物理学家加来道雄（《物理学的未来》作者）探讨了可能很快成为现实的奇妙的科幻领域。他的未来学框架融合了物理学和神经科学……用来证明实现科学幻想的‘原理可行性’：大脑可以读取，记忆可以数字存储，以及智能可以大幅度提升。虽然专注于科学讨论，但本书迷人、清晰，并多以电影举例……这些神经科学的最新前沿会紧紧抓住读者的心灵。”

——《出版者周刊》（Publishers Weekly）

“加来道雄的注意力转向了人类心灵，拿出了同样令人称赞的成绩。心灵感应不再是幻想，因为扫描仪已经能够识别受试者的思想，虽然这种识别还很粗糙。此外，基因学和生物化学现在可以让研究人员改变动物的记忆，提升动物的智能。对大脑的不同区域直接施加电刺激可以改变人的行为，唤醒昏迷中的病人，缓解抑郁，引起灵魂出窍及宗教体验……。加来道雄不忌惮于引述科幻电影和电视剧（他观看了所有节目）……他根据已在进行中的优秀研究作出了新颖的预测。”

——《柯克斯书评》（Kirkus Reviews）

“让人深思的事实：银河系中恒星的数量（大约1 000亿颗）与人类大脑中神经元的数量一样多；我们的手机要比阿波罗11号登陆月球时美国国家航空航天局所拥有的运算能力强大许多。这两个表面上并不相关的事实告诉我们两件事：我们的大脑是极为复杂的有机体；科学幻想可以很快地成为现实。理论物理学家加来道雄这本让人深深着迷的书，全面探寻人类大脑的前景：实用性的心灵感应和心灵遥控，可植入大脑的人造记忆，能提升智力的药片。作者在书中描述了正在进行的利用传感器读取人类大脑中的图像，和通过给大脑下载人造记忆治疗中风与老年痴呆症患者的工作。科幻迷读到此书可能会激动不已——这样的事正在发生，真的在发生！对于从没真正思考过大脑的极端复杂性和巨大潜力的普通读者，此书可以成为大开眼界的神奇之旅。”

——《书单》（Booklist）

跟随加来道雄

《超越爱因斯坦》

《爱因斯坦的宇宙》

《构想未来》

《超空间》

《平行宇宙》

《不可能的物理学》

《物理学的未来》

《心灵的未来》

加来道雄（Michio Kaku）

纽约城市大学理论物理学教授

This book is dedicated to my loving wife, Shizue,

and my daughters, Michelle and Alyson

本书献给

我亲爱的妻子静枝

我的女儿米歇尔与艾丽森

非凡的科学杰作

神经科学令人震惊的前沿

带领我们迈上探索心灵未来的光辉之旅

《纽约时报》畅销书《平行宇宙》、《物理学的未来》、《不可能的物理学》和《超空间》的作者，探索宇宙中最令人着迷、最为复杂的物体：人类大脑。

这是历史上第一次，借助计算机和一系列高科技的大脑扫描技术，活体大脑的奥秘正被一步步地揭开。在过去的几十年里，从前专属科幻小说的领地现在成为令人惊异的现实；被认为不可能的技术，如记忆记录、心灵感应、梦境摄录和心灵遥控，现在在实验室中得到证明。

《心灵的未来》为我们了解全世界顶级实验室中令人惊叹的研究提供了权威的、让人着迷的视野，这些研究都围绕着神经科学和物理学的最新进展展开。有一天，我们可能会得到可以提升认知能力的“智力药片”，能够将自己的大脑按照神经元逐个上传到计算机，能够把思想和情感通过“脑联网”传到世界各地，能够用心灵控制计算机和机器人，挑战永生的限制，甚至把自己的意识传递到整个宇宙空间。

加来道雄博士带领我们走上这个未来的光辉之旅，不仅使我们深入地了解大脑的运行方式，还告诉我们这些技术将如何改变我们的日常生活。加来道雄还对“意识”提出了全新的观点，即“意识时空理论”，这个观点给神经性疾病、人工智能和外星人意识等问题带来了崭新认识。

加来道雄博士对现代科学有着深入的理解，对未来发展有着敏锐的洞察力，他的《心灵的未来》是一本科学杰作，将带领我们探索神经科学非凡的、让人震惊的前沿。

致　谢

我非常高兴地采访和会见了以下著名的科学家，他们全都是这个领域的领军人物。我要感谢他们腾出时间接受我的采访和讨论科学的未来。他们给了我指引和鼓舞，并奉献他们在各自领域的坚实的基础知识。

我要感谢这些先驱者和开拓者，特别要感谢那些同意出现在我的专门的英国广播公司（BBC）电视节目、发现和科学电视频道，以及我的全美国无线电广播节目、《科学幻想》和《探索》中的科学家。

·彼得·多尔蒂（Peter　Doherty)，诺贝尔奖得主，圣裘德儿童研究医院

·杰拉尔德·埃德尔曼（Gerald　Edelman），诺贝尔奖得主，斯克里普斯研究所

·利昂·莱德曼（Leon　Lederman)，诺贝尔奖得主，伊利诺伊理工学院

·默里·盖尔曼（Murray　Gell-Mann），诺贝尔奖得主，圣菲研究所和加州理工学院

·亨利·肯德尔（Henry　Kendall），诺贝尔奖得主，麻省理工学院，已故

·沃尔特·吉尔伯特（Walter Gilbert），诺贝尔奖得主，哈佛大学

·戴维·格罗斯（David　Gross），诺贝尔奖得主，卡维里理论物理研究所

·约瑟夫·罗特布拉特（Joseph　Rotblat），诺贝尔奖得主，圣巴塞洛缪医院

·南部阳一郎（Yoichiro Nambu)，诺贝尔奖得主，芝加哥大学

·史蒂文·温伯格（Steven　Weinberg），诺贝尔奖得主，得克萨斯大学奥斯汀分校

·弗兰克·维尔切克(Frank Wilczek)，诺贝尔奖得主，麻省理工学院

·阿米尔·阿克塞尔(Amir Aczel)，《铀的战争》作者

·巴兹·奥尔德林（Buzz Aldrin），美国国家航空航天局宇航员，在月球上行走的第二人

·杰夫·安德森（Geoff Andersen），美国空军学院，《望远镜》作者

·杰伊·巴伯利（Jay Barbree)，《登月》作者

·约翰·巴罗（John Barrow），物理学家，剑桥大学，《不可能发生的事》作者

·玛西娅·巴尔图夏克（Marcia Bartusiak)，《爱因斯坦未完成的交响曲》作者

·吉姆·贝尔（Jim Bell），天文学家，康奈尔大学

·杰夫里·贝内特（Jeffrey Bennet），《超越飞碟》作者

·鲍勃·伯曼（Bob Berman)，天文学家，《夜空的秘密》作者

·莱斯利·比泽克（Leslie Biesecker)，美国国立卫生研究院

·皮尔斯·比佐尼（Piers Bizony)，《如何建造自己的飞船》作者

·迈克尔·布莱泽（Michael Blaese)，美国国立卫生研究院

·亚历克斯·伯泽（Alex Boese），恶作剧博物馆创始人

·尼克·博斯特罗姆（Nick Bostrom)，超人主义学者，牛津大学

·罗伯特·鲍曼（Robert Bowman)中校，空间与安全研究所

·辛西娅·布雷齐尔（Cynthia Breazeal），人工智能专家，麻省理工学院媒体实验室

·劳伦斯·布罗迪（Lawrence Brody)，美国国立卫生研究院

·罗德尼·布鲁克斯（Rodney Brooks），麻省理工学院人工智能实验室主任

·莱斯特·布朗（Lester Brown)，地球政策研究所

·迈克尔·布朗（Michael Brown），天文学家，加州理工学院

·詹姆斯·坎顿(James Canton)，《极端的未来》作者

·亚瑟·卡普兰（Arthur Caplan)，宾夕法尼亚大学生物伦理学中心主

任

·弗里肖夫·卡普拉（Fritjof Capra)，《列奥纳多的科学》作者

·肖恩·卡罗尔（Sean Carroll），宇宙学家，加州理工学院

·安德鲁·蔡金（Andrew Chaikin)，《月球上的男人》作者

·勒罗伊·基奥（Leroy Chiao），美国国家航空航天局宇航员

·埃里克·奇维安（Eric Chivian)，国际核战争预防医师

·迪帕克·乔普拉（Deepak Chopra），《超级大脑》作者

·乔治·丘奇（George Church），哈佛大学计算遗传学中心主任

·托马斯·科克伦(Thomas Cochran)，物理学家，自然资源保护委员会

·克里斯托弗·乔基诺斯(Christopher Cokinos)，天文学家，《坠落的天空》作者

·弗兰西斯·柯林斯（Francis Collins），美国国立卫生研究院

·维基·科尔文（Vicki Colvin），纳米技术学家，得克萨斯大学

·尼尔·科明斯 (Neal Comins)，《太空旅行冒险》作者

·史蒂夫·库克（Steve Cook），美国国家航空航天局发言人

·克里斯蒂娜·科斯格罗夫（Christine Cosgrove），《不惜任何代价使身高正常》作者

·史蒂夫·卡曾斯（Steve Cousins），柳树车库个人机器人程序首席执行官

·菲利浦·科伊尔 (Phillip Coyle)，美国国防部前防务助理秘书

·丹尼尔·克勒维耶（Daniel Crevier），人工智能视觉检测首席执行官

·肯·克罗斯韦尔（Ken Croswell），天文学家，《壮丽的宇宙》作者

·史蒂文·坎默（Steven Cummer），计算机科学教授，杜克大学

·马克·库特科斯基（Mark Cutkowsky），机械工程专家，斯坦福大学

·保罗·戴维斯(Paul Davies)，物理学家，《超力》作者

·丹尼尔·丹尼特（Daniel Dennet），哲学家，塔夫斯大学

·迈克尔·德图佐斯（Michael Dertouzos），计算机科学家，麻省理工学院，已故

·贾里德·戴蒙德（Jared Diamond），普利策奖得主，加利福尼亚大学洛杉矶分校

·马里奥特·迪克里斯蒂娜（Marriot DiChristina），《科学美国人》

·彼得·迪尔沃思（Peter Dilworth），麻省理工学院人工智能实验室

·约翰·多诺霍（John Donoghue），“大脑之门”的创造者，布朗大学

·安·德鲁扬（Ann Druyan），卡尔·萨根的遗孀，宇宙工作室

·弗里曼·戴森（Freeman Dyson），普林斯顿大学高等研究院

·戴维·伊格尔曼（David Eagleman），神经科学家，贝勒医学院

·约翰·埃利斯（John Ellis），物理学家，欧洲核子研究中心

·保罗·埃利希（Paul Erlich)，环境保护学者，斯坦福大学

·丹尼尔·费尔班克斯（Daniel Fairbanks），《伊甸园的遗迹》作者

·蒂莫西·费里斯（Timothy Ferris)，加利福尼亚大学，《银河系时代来临》作者

·玛丽亚·菲尼佐（Maria Finitzo），干细胞专家，皮博迪奖得主

·罗伯特·芬克尔斯坦（Robert Finkelstein），人工智能专家

·克里斯托弗·弗莱文（Christopher Flavin），世界观察研究所

·路易斯·弗里德曼（Louis Friedman），行星协会的共同创始人

·杰克·加兰特(Jack Gallant)，神经科学家，加利福尼亚大学伯克利分校

·詹姆斯·加温（James Garwin），美国宇航局首席科学家

·伊夫林·盖茨（Evelyn Gates），《爱因斯坦的望远镜》作者

·迈克尔·加扎尼加(Michael Gazzaniga)，神经病学家，加利福尼亚大学圣芭芭拉分校

·杰克·盖革（Jack Geiger），“医生的社会责任”共同创始人

·戴维·格勒尔特内尔（David Gelertner），计算机科学家，耶鲁大学和加利福尼亚大学

·尼尔·格申菲尔德 (Neal Gershenfeld)，麻省理工学院媒体实验室

·丹尼尔·吉尔伯特（Daniel Gilbert），心理学家，哈佛大学

·保罗·吉尔斯特（Paul Gilster），《半人马座之梦》作者

·丽贝卡·戈德堡（Rebecca Goldberg），环境保护基金

·唐·戈德史密斯(Don Goldsmith)，天文学家，《失控的宇宙》作者

·戴维·戈尔茨坦（David Goodstein），加州理工学院教务长助理

·约翰·理查德·戈特（J. Richard Gott III），普林斯顿大学，《在爱因斯坦宇宙的时间旅行》作者

·斯蒂芬·杰伊·古尔德（Stephen Jay Gould），生物学家，哈佛大学，已故

·托马斯·格雷厄姆（Thomas Graham）大使，间谍卫星和情报收集

·约翰·格兰特 (John Grant)，《损坏的科学》作者

·埃里克·格林（Eric Green），美国国立卫生研究院

·罗纳德·格林（Ronald Green），《设计婴儿》作者

·布赖恩·格林（Brian Greene），哥伦比亚大学，《优雅的宇宙》作者

·艾伦·古思（Alan Guth），物理学家，麻省理工学院，《膨胀的宇宙》作者

·威廉·汉森（William Hanson），《医学前沿》作者

·伦纳德·海弗利克（Leonard Hayflick），加州大学旧金山医学院

·唐纳德·希勒布兰德（Donald Hillebrand），阿贡国家实验室，《汽车的未来》作者

·弗兰克·冯·希佩尔（Frank N.von Hippel)，物理学家，普林斯顿大学

·艾伦·霍布森（Allan Hobson），精神病学家，哈佛大学

·杰夫瑞·霍夫曼（Jeffrey Hoffman），美国宇航局宇航员，麻省理工学院

·道格拉斯·霍夫斯塔特（Douglas Hofstadter），普利策奖得主，印第安纳大学，《哥德尔、埃舍尔、巴赫》作者

·约翰·霍根（John Horgan），史蒂文斯理工学院，《科学的终结》作者

·杰米·海尼曼（Jamie Hyneman），《流言终结者》节目主持人

·克里斯·英庇 (Chris Impey)，天文学家，《现存的宇宙》作者

·罗伯特·伊列（Robert Irie），麻省理工学院人工智能实验室

·P.J.雅各博维茨（P. J. Jacobowitz），PC杂志

·杰伊·雅罗斯拉夫（Jay Jaroslav），麻省理工学院人工智能实验室

·唐纳德·约翰森（Donald Johanson），人类学家，露西的发现者

·乔治·约翰逊（George Johnson)，《纽约时报》科学记者

·汤姆·琼斯（Tom Jones)，美国国家航空航天局宇航员

·史蒂夫·凯茨（Steve Kates)，天文学家

·杰克·凯斯勒（Jack Kessler)，干细胞专家，皮博迪奖得主

·罗伯特·基尔希内尔（Robert Kirshner），天文学家，哈佛大学

·克里斯·柯尼希（Kris Koenig)，天文学家

·劳伦斯·克劳斯（Lawrence Krauss），亚利桑那州立大学，《星际迷航物理学》作者

·劳伦斯·库恩（Lawrence Kuhn)，制片人和哲学家，《更接近真理》作者

·雷·库兹韦尔（Ray Kurzweil），发明家，《灵魂机器时代》作者

·罗伯特·兰扎（Robert Lanza），生物技术教授，先进细胞技术公司

·罗杰·劳纽斯（Roger Launius），《空间机器人》作者

·斯坦·李（Stan Lee)，惊奇漫画和蜘蛛侠的创造者

·迈克尔·莱蒙尼克（Michael Lemonick），《时代》高级科学编辑

·亚瑟·勒纳林（Arthur Lerner-Lam)，地质学家，火山学家

·西蒙·莱沃伊（Simon LeVay），《当科学出错时》作者

·约翰·刘易斯（John Lewis），天文学家，亚利桑那大学

·艾伦·莱特曼（Alan Lightman)，麻省理工学院，《爱因斯坦的梦想》作者

·乔治·莱恩汉（George Linehan），《空间1号》作者

·塞思·劳埃德（Seth Lloyd)，麻省理工学院，《编程宇宙》作者

·维尔纳·R.勒文斯泰因（Werner R. Loewenstein），原细胞物理实验室主任，哥伦比亚大学

·约瑟夫·吕克恩（Joseph Lykken)，物理学家，费米国家实验室

·帕蒂·梅斯（Pattie Maes），麻省理工学院媒体实验室

·罗伯特·曼（Robert Mann)，《法医侦探》作者

·迈克尔·保罗·梅森（Michael Paul Mason），《头脑病例：脑损伤及其后果的故事》作者

·帕特里克·麦克雷（Patrick McCray)，《凝视天空》作者

·格伦·麦吉（Glenn McGee），《完美的婴儿》作者

·詹姆斯·麦克勒金（James McLurkin)，麻省理工学院人工智能实验室

·保罗·麦克米伦（Paul McMillan），空间瞭望实验室主任

·富尔维娅·梅利亚 (Fulvia Melia)，天文学家，亚利桑那大学

·威廉·梅勒（William Meller），《进化的处方药》（Evolution Rx）作者

·保罗·梅尔泽（Paul Meltzer)，美国国立卫生研究院

·马文·明斯基（Marvin Minsky），麻省理工学院，《精神的社会》作者

·汉斯·莫拉维克（Hans Moravec)，《机器人》作者

·菲利浦·莫里森（Phillip Morrison)，物理学家，麻省理工学院，已故

·理查德·米勒（Richard　Muller），天体物理学家，加州大学伯克利分校

·戴维·纳哈姆（David Nahamoo)，IBM人类语言技术

·克莉丝汀·尼尔（Christina Neal），火山学家

·米格尔·尼科莱利斯（Miguel Nicolelis），神经学家，杜克大学

·西本真治（Shinji Nishimoto)，神经病学家，加州大学伯克利分校

·迈克尔·诺瓦克（Michael Novacek），美国自然历史博物馆

·迈克尔·奥本海默（Michael　Oppenheimer)，环境学者，普林斯顿大学

·迪安·奥尼什（Dean Ornish），癌症和心脏病专家

·彼得·帕莱塞（Peter Palese)，病毒学家，纽约西奈山医学院

·查尔斯·佩尔兰（Charles Pellerin），美国国家航空航天局官员

·西德尼·佩尔科维茨（Sidney Perkowitz)，《好莱坞的科学》作者

·约翰·派克（John Pike），全球安全网站（globalsecurity.org）

·耶拿·平科特（Jena　Pincott），《绅士们真的喜欢金发女郎吗？》作者

·史蒂文·平克 (Steven Pinker)，心理学家，哈佛大学

·托马斯·波焦（Thomas Poggio），麻省理工学院人工智能实验室

·科里·鲍威尔（Correy Powell），《发现》杂志编辑

·约翰·鲍威尔（John Powell），JP航天公司创始人

·理查德·普雷斯顿（Richard　Preston)，《危险地带》和《冰箱里的恶魔》作者

·拉曼·普林贾（Raman Prinja），天文学家，伦敦大学学院

·戴维·夸门（David　Quammen)，进化生物学家，《不情愿的达尔文先生》作者

·凯瑟琳·拉姆斯兰 (Katherine Ramsland)，法医科学家

·莉萨·兰德尔（Lisa Randall)，哈佛大学，《扭曲的旅程》作者

·马丁·里斯（Martin Rees）爵士，英国皇家天文学家，剑桥大学，《开始之前》作者

·杰瑞米·里夫金（Jeremy Rifkin），《经济趋势的基础》作者

·戴维·里基耶（David Riquier），麻省理工学院媒体实验室

·简·里斯勒（Jane Rissler)，科学家联盟

·史蒂文·罗森伯格（Steven Rosenberg），美国国立卫生研究院

·奥利弗·萨克斯(Oliver Sacks)，神经学家，哥伦比亚大学

·保罗·萨福（Paul Saffo），未来学家，未来研究所

·卡尔·萨根（Carl Sagan)，康奈尔大学，《宇宙》作者, 已故

·尼克·萨根（Nick Sagan），《这是你说的未来吗？》合著作者

·迈克尔·H.萨拉蒙（Michael H. Salamon)，美国国家航空航天局“超越爱因斯坦计划”

·亚当·萨维奇（Adam Savage），《终结者》主持人

·彼得·施瓦茨（Peter Schwartz)，未来学家，全球商业网创始人

·迈克尔·舍尔默（Michael Shermer），怀疑论者协会和《怀疑论者》杂志创始人

·唐娜·雪莉（Donna Shirley），美国宇航局“火星计划”

·塞思·肖斯塔克（Seth Shostak)，搜寻地外文明计划研究所

·尼尔·舒宾（Neil Shubin），《你内在的鱼》作者

·保罗·舒尔奇（Paul Shurch），搜寻地外文明计划联盟

·彼得·辛格（Peter Singer），《连线战争》作者

·西蒙·辛格 (Simon Singh)，《大爆炸》作者

·加里·斯莫尔（Gary Small）,《读脑术》（iBrain）作者

·保罗·斯普蒂斯（Paul Spudis），《奥德赛月球公司》作者

·斯蒂芬·斯夸尔斯（Stephen Squyres），天文学家，康奈尔大学

·保罗·斯坦哈特（Paul Steinhardt)，普林斯顿大学，《无尽的宇

宙》作者

·杰克·斯特恩（Jack Stern)，干细胞外科医生

·格里高利·斯托克（Gregory Stock），加州大学洛杉矶分校，《重新设计人类》作者

·理查德·斯通（Richard Stone)，《小行星》和《通古斯爆炸》作者

·布赖恩·沙利文（Brian Sullivan)，海登天文馆

·莱昂纳德·萨斯坎德（Leonard Susskind），物理学家，斯坦福大学

·丹尼尔·塔米特（Daniel Tammet)，《生在蓝天下》作者

·杰弗里·泰勒（Geoffrey Taylor），物理学家，墨尔本大学

·泰德·泰勒（Ted Taylor），美国核弹头设计师，已故

·马克斯·特格马克（Max Tegmark），宇宙学家，麻省理工学院

·阿尔文·托夫勒（Alvin Toffler)，《第三次浪潮》作者

·帕特里克·塔克（Patrick Tucker)，世界未来学会

·克里斯·特尼（Chris Turney），卧龙岗大学，《冰、泥和血》作者

·尼尔·德格拉斯·泰森（Neil de Grasse Tyson)，海登天文馆馆长

·塞什·韦拉莫尔（Sesh Velamoor)，未来基金会

·罗伯特·华勒斯（Robert Wallace），《间谍技术》作者

·凯文·沃里克（Kevin Warwick)，人性化的电子人，英国雷丁大学

·弗雷德·沃森（Fred Watson），天文学家，《看星人》作者

·马克·韦泽（Mark Weiser)，施乐公司帕洛阿尔托研究中心，已故

·艾伦·魏斯曼（Alan Weisman)，《没有我们的世界》作者

·丹尼尔·韦特海默（Daniel Wertheimer），在家搜寻地外文明计划，加州大学伯克利分校

·迈克·韦斯勒（Mike Wessler)，麻省理工学院人工智能实验室

·罗杰·威恩斯（Roger Wiens），天文学家，洛斯阿拉莫斯国家实验室

·奥托尔·威金斯（Author Wiggins)，《物理学的快乐》作者

·安东尼·温肖·鲍里斯（Anthony Wynshaw-Boris），美国国立卫生研究院

·卡尔·齐默（Carl Zimmer），生物学家，《进化》作者

·罗伯特·齐默尔曼（Robert Zimmerman)，《离开地球》作者

·罗伯特·祖布林（Robert Zubrin），火星协会的创始人

我要感谢我的代理人，斯图尔特·克里切夫斯基(Stuart Krichevsky)，这些年他一直在我身边，给了我关于我的书的有用的建议。此外，我要感谢我的编辑，爱德华·卡斯滕迈耶（Edward Kastenmeier）和梅丽莎·达纳钦科（Melissa Danaczko），他们对我的书的编写给予了指导和提供了宝贵的编辑建议。我要感谢米歇尔·加来(Michelle Kaku)医生，她是我的女儿，也是纽约西奈山医院的一位神经科医生。我和她进行了有激励的、周详的和富有成效的关于神经学未来的探讨。她仔细和深入地阅读手稿，大大增强了文稿的演示性和本书的内容。

引　言

在自然界的所有秘密中，两个最大的奥秘是心灵和宇宙。我们已经能够用我们丰富的技术，拍摄数十亿光年以外的星系，操纵控制生命的基因，探测原子的密室，但心灵和宇宙仍然迷惑和折磨着我们。对科学来说，它们是最神秘的和迷人的前沿领域。

如果你想欣赏宇宙的威严，只需凝视闪耀着无数星星的夜空。自从我们的祖先最初看到星空的辉煌，我们就被这些永恒的问题困惑：所有这一切都是从哪里来的？这一切意味着什么呢？

要见证我们心灵的秘密，我们要做的是盯着镜子中的自己，想想我们眼睛背后隐藏着什么？这也提出了类似这样的问题：我们有灵魂吗？我们死后会发生什么呢？“我”到底是谁？最重要的是，这给我们带来了最后一个问题：我们在何处融入到这个宏伟的宇宙规划中？正如维多利亚时代伟大的生物学家托马斯·赫胥黎（Thomas Huxley）曾经说过：“人类的所有问题中的问题，最根本和最有趣的问题，是确定人在自然界中的位置和他与宇宙的关系。”

在银河系中有1 000亿颗恒星，大致与我们大脑中的神经元的数量相同。也许要走24万亿英里（**38.62**万亿公里）才能到达太阳系外的第一颗恒星，才能找到一个像你肩膀上面的头颅那样复杂的东西。[1]心灵和宇宙构成了最大的科学挑战，但它们也有一种奇特的关系。它们一方面是两极对立的：一个是关于外层空间的广阔性，在那里我们遇到陌生的事物，如黑洞、爆发星和星系碰撞；另一个涉及内部空间，在那里我们发现我们最亲密的、个人的希望和愿望。心灵和我们下面要讲的意识的意思差不多，但我们却往往不能清楚地用语言表达和解释它。

但是，尽管它们可能在这方面是对立的，它们也有一个共同的历史和故事。自无法追溯的时间以来，两者都被笼罩在迷信和巫术之中。占星学家和颅相学家声称，在每一个生肖的星座中和在你头盖骨上的隆起之处找到了宇宙的意义。同时，读心者和预言家也交替地相互庆祝和诋毁了很多年。

宇宙和心灵继续以各种方式相交，多亏在科幻小说中我们会经常遇到不少眼界开阔的思想。我小时候阅读这些书时，我会梦想成为斯兰（Slan，超人），一种由阿尔弗雷德·埃尔顿·范沃格特（A. E. van Vogt）创建的人种的成员。我惊讶于一个称为杂交种的突变体可以释放它巨大的心灵感应力量，几乎夺取了在艾萨克·阿西莫夫的《基地三部曲》（Foundation Trilogy）中银河帝国的控制权。在电影《紫禁星》（Forbidden Planet，又译《禁忌星球》）中，我惊讶在我们之后几百

万年的先进文明，能够引导它巨大的心灵感应能力去按照它的想法和愿望重塑现实。

随后，在我十岁的时候，“惊人的邓宁格”（The Amazing Dunninger）出现在电视上。他用他的精彩的魔术让他的观众惊异不已。他的座右铭是“对于那些相信的人不需要解释；对于那些不相信的人，再多的解释都不够”。有一天，他宣布，他要把他的想法发送到全美国几百万人的头脑中。他闭上眼睛，开始集中思想，声称他正在发射美国一位总统的名字。他要人们把出现在他们头脑中的名字写在明信片上并邮寄出去。接下来的一周，他宣布自己胜利了，成千上万的明信片写着“罗斯福”的名字，正是他发送给全美国的同样的名字。

对此我并没有太受感动，因为在那个时候，在经历了大萧条和第二次世界大战的人们心中，罗斯福是伟大的，因此一点也不奇怪。（我想，如果他发送的是米勒德·菲尔莫尔总统，结果也应验了那才真正了不起。）

然而，它却激起了我的想象力，我忍不住在自己身上尝试心灵感应，试图尽我所能地集中思想去读懂别人的心。闭上我的眼睛和神情专注，我会试图“听”到其他人的想法和用意念力在我的房间里移动物体。

我失败了。

也许在某处存在着心灵感应，但我不是其中之一。在这个过程中，我开始意识到，奇妙地利用心灵感应也许是不可能的，至少在没有外界的援助下是不可能的。但在随后的几年里，我也慢慢地上了另一课：理解宇宙中最大的秘密，并不需要心灵感应或超人的能力。只需要有一个开放、执着和好奇的心。特别是，为了了解科幻中奇幻的设备是不是可能的，你必须让自己沉浸在先进的物理学中。要了解什么时候可能的会成为不可能的，你必须理解物理规律。

这些年来，这两种感情激发了我的想象去了解物理学的基本定律，并看看科学技术将如何影响我们未来的生活。为了说明这一点，并分享探索物理学的终极理论的兴奋，我写了三本书《超空间》（Hyperspace）、《超越爱因斯坦》（Beyond Einstein）和《平行宇宙》（Parallel Worlds）。为了表达我对未来的幻想，我写了《构想未来》（Visions）、《不可能的物理学》（Physics of the Impossible）和《物理学的未来》（Physics of the Future）。在研究和写作这些书的过程中，我不断地提醒自己，人类的心灵仍然是世界上最伟大、最神秘的力量。

事实上，在漫长的历史长河中，我们没有理解心灵是什么，它是如何工作的？古埃及人，他们在艺术和科学上取得了辉煌的成就，但却认为大脑是一个无用的器官，在给法老做防腐处理时把大脑扔掉了。亚里士多德认为，灵魂居住在心脏里，而不是在大脑里，他认为大脑的唯一

作用是冷却心血管系统。其他人，像笛卡尔，认为灵魂是通过大脑中微小的松果体进入人体的。但是没有任何确凿的证据，这些理论都没能得到证明。

这个“黑暗时代”持续了几千年，这是有其原因的。大脑只有3磅（1.36千克）重，但它是太阳系中最复杂的物体。虽然大脑的重量只占身体的2%，却有一个贪婪的胃口，它消耗身体能量的20%（在新生儿期，婴儿的大脑消耗能量更惊人，达到65%），而80%的人类基因的编码是用于大脑的。估计头颅内有1 000亿个神经元，还有大量的神经连接和通路。

回到1977年，天文学家卡尔·萨根（Carl Sagan）写了他的获得普利策奖的图书《伊甸园之龙》（The Dragons of Eden），他大致总结了到他那个时候所知道的大脑的全部知识。他的书写得很美，并试图给出神经科学的最新研究成果，在那个时候这些成功的获得主要依赖三个主要来源。首先是比较我们的大脑与其他物种的大脑。这是一项繁琐和困难的工作，因为它涉及成千上万种动物的大脑解剖。第二种方法同样是间接的：分析中风病的受害者，他们往往因为自身的疾病表现出奇怪的行为。只有在他们死后的尸检可以揭示大脑的哪一部分出了故障。第三，科学家可以利用电极探针探测大脑，将得到的信息慢慢地、耐心地拼凑起来，确定大脑的哪一部分影响哪种行为。

但是，这些神经科学的基本方法未能系统地分析大脑。你不能简单地要求一个中风患者的大脑损伤就在你想研究的特定地区。因为大脑是一个活的、动态的系统，尸体解剖通常不能发现最有趣的功能，如大脑的各个部分之间的相互作用，更不要说它们如何产生爱意、仇恨、嫉妒和好奇心等不同的思想。

双重革命

400年前，望远镜发明了，几乎一夜之间，这个新颖的、神奇的工具窥见了天体的心脏。这是自古以来一个最具革命性的（和煽动性的）仪器。突然，你能亲眼看到过去的神话和教条如同早晨的云雾蒸发了。月亮并不像神的智慧说的那样完美而是有锯齿状的火山口，太阳有黑色的斑点，木星有卫星，金星有相，土星有环。在望远镜发明后15年所学到的东西比人类历史的总和还多。

像望远镜的发明一样，在20世纪90年代和21世纪，磁共振成像（MRI）机和各种先进的脑部扫描器的引进改变了神经科学。我们在过去的15年对大脑的了解比之前所有的人类历史所了解的更多，并且心灵，一度被认为是遥不可及的，终于呈现在舞台的中心。

诺贝尔奖得主，德国图宾根的马克斯·普朗克研究所教授埃里克·理查德·坎德尔（Eric R. Kandel)写道：“在这个时期出现的对人类心灵最有价

值的见解不是来自与心灵有关的传统学科，如哲学、心理学或心理分析。相反，这些见解来自这些学科与大脑生物学的结合……”

物理学家在这一努力中起了举足轻重的作用，提供了大量新颖的以首字母缩略词表示的工具，如磁共振成像（MRI）、脑电图（EEG）、正电子发射断层显像（PET）、轴向计算层析成像技术（CAT）、经皮血气监测仪（TCM）、经颅电磁扫描仪（TES）和深部脑刺激术（DBS），极大地改变了大脑的研究。突然，这些机器让我们可以看到思想在活的、思维着的大脑中运动。正如加利福尼亚大学圣迭戈分校的神经学家维兰努亚·苏博纳玛尼亚·拉玛钱德朗（V. S. Ramachandran)所说：“所有这些哲学家研究多年的问题，我们的科学家可以通过脑成像、研究患者和问适当的问题进行研究了。”

回首往事，我少年时的一些初步的对物理世界的接触正好与现在的打开心灵的技术有关。例如，在高中时我开始意识到一个新的物质形态，称为反物质，并决定进行一个该主题的科学项目。反物质是地球上最奇异的物质，我不得不向老原子能委员会索要一点点钠22，一种自然散发一个正电子（反电子，或阳电子［positron］）的物质。有了这个小样品在手中，我可以建立一个云室和强大的磁场，让我能够拍摄反物质粒子留下的蒸气踪迹。我当时并不知道它，但钠22将很快成为一个新的技术工具，称为PET（正电子发射断层显像），从此它给了我们惊人的了解大脑思维的工具。

在读高中时，我尝试的另一个技术是磁共振。我参加了斯坦福大学费利克斯·布洛赫（Felix Bloch）的一个演讲，由于发现核磁共振，他与爱德华·珀塞尔（Edward Purcell)分享了1952年的诺贝尔物理学奖。布洛赫博士向我们这些高中的孩子解释，如果你有一个强大的磁场，原子就会在这个磁场里像罗盘针一样垂直对齐。如果你以精确的共振频率发射一个无线电脉冲到这些原子上，就可以使它们快速翻转。当它们最终翻转回来，它们会发出一个脉冲，就像一个回声，这将允许你确定这些原子的身份。（后来，我用这个磁共振原理，在妈妈的车库里建了一个230万电子伏的粒子加速器）。

两年后，我成为哈佛大学的一个新生，非常荣幸有珀塞尔博士教我电动力学。与此同时，我也有一个暑期工作，有机会与理查德·恩斯特（Richard Ernst）博士一起工作，他试图推广布洛赫和珀塞尔关于磁共振的工作。他令人吃惊地成功了，由于奠定了现代的MRI（磁共振成像）机的基础，他获得了1991年的诺贝尔物理学奖。接下来，MRI机器给了我们活生生的大脑的详细照片，甚至比PET（正电子发射断层显像）扫描更精细。

强化心灵

最终，我成为一个理论物理学的教授，但我对心灵的迷恋仍然依

旧。真是激动人心地看到，仅仅在过去的10年中，物理学的进步使得某些心灵的壮举成为可能，这些壮举曾让我在儿时异常兴奋。现在，科学家通过磁共振成像扫描可以读取在我们大脑中流动的思想。科学家也可以插入一枚芯片到完全瘫痪病人的大脑中，并把它连接到计算机上，病人就可以浏览网页、阅读和写邮件、玩视频游戏、操控自己的轮椅、照管家用电器，并操纵机械臂。事实上，这样的病人可以通过计算机做任何一个正常的人能做的事。

科学家们现在更进了一步，通过将大脑直接连接到外骨骼，这些病人就可以活动他们瘫痪的四肢。总有一天，四肢瘫痪者可以过上接近正常人的生活。这种外骨骼也会给我们超级力量，使我们能够处理紧急情况。会有一天，我们的宇航员可以在他们舒适的卧室中，用心灵控制机械替身去探索行星。

正如在电影《矩阵》（The Matrix，又译《黑客帝国》）中，我们可能有一天能够利用计算机下载记忆和技能。科学家们已经能够在动物实验中将存储器插入到大脑中。也许我们的大脑也可以插入人工存储器去学习新的学科，到新的地方度假，掌握新的爱好，这仅仅是个时间早晚的问题。如果技能可以下载到工人和科学家的头脑中，这甚至可能会影响世界的经济。我们甚至也可以分享这些记忆。有一天，科学家可以构建一个“心灵互联网”，或是一个脑网，用电子操作将思想和感情发送到全世界。甚至梦想将能录像，然后“脑-邮”（brain-mailed）到互联网上。

技术也可以给我们力量来提高我们的智力。在理解“学者”在智力、艺术和数学上为什么具有非凡能力上已经取得了进展。此外，将我们与猿区分开的基因现已排序，让我们无与伦比地瞥见了大脑的进化起源。在动物身上已提取出可以提高记忆力和智力的基因。

这些令人眼界开阔的进展所产生的兴奋和希望是如此巨大，以至于也引起了政客们的注意。事实上，脑科学突然成为世界上最大的经济强国与经济体之间的跨大西洋的竞争之源。2013年1月，巴拉克·奥巴马（Barack Obama)总统和欧盟宣布，最终有可能成为数十亿美元资金资助的两个独立的项目将是大脑逆向工程。解读大脑的复杂的神经电路一度被视为毫无希望，超越了现代科学的范围，现在成为两个相互碰撞的项目的重点，如同人类基因组计划将改变科学和医学的景观。这不仅会给我们了解大脑的无与伦比的洞察力，这也会产生新的工业领域，刺激经济活动，为神经科学开辟新的前景。

一旦大脑的神经通路最终被解码，我们就能了解精神疾病的确切起源，并可能最终治愈这一古老的疾病。大脑解码也使得创建一个大脑的复制品成为可能，这会引起哲学和伦理问题。我们是谁，如果我们的意识可以被上传到一台电脑中？不朽这个概念也许就有可能。我们的身体可能最终会腐烂和死亡，但我们的意识能永恒吗？

除此之外，也许在遥远未来的某一天，心灵将离开身体的约束在恒星际间漫游，正如几位科学家所推测的那样。也许从现在算起几百年后，我们可以想象把我们整个的神经蓝图放到激光束上，发射到深空，也许这是我们的意识探索星空的最便捷方式。

一个辉煌的、将重塑人类命运的、崭新的科学景观现在真正打开了。我们正在进入一个新的神经科学的黄金时代。

在做出这些预测时，我得到了科学家的宝贵援助，他们慷慨地允许我采访他们，在国家电台广播他们的想法，甚至带领摄制组到他们的实验室里。这些是奠定心灵的未来基础的科学家。要把他们的想法纳入本书，我只做了两个要求：（1）他们的预测必须严格遵循物理定律；（2）必须有原型出示这些影响深远的思想原理的证据。

被精神疾病所触动

我曾经写了一本阿尔伯特·爱因斯坦的传记，叫做《爱因斯坦的宇宙》（Einstein’s Cosmos），并已深入到他私生活的细节。我知道，爱因斯坦的小儿子得了精神分裂症，但没有认识到在这位伟大科学家的生活中付出了多大的感情代价。爱因斯坦也以另一种方式被精神疾病所触动；他的一个最亲密的同事，物理学家保罗·埃伦费斯特（Paul Ehrenfest）曾帮助他建立了广义相对论的理论。在遭受抑郁症的折磨后，埃伦费斯特残酷地杀害了自己的患有唐氏综合征的儿子，然后自杀了。多年来，我发现我的许多同事和朋友也难以在他们的家庭里控制精神疾病。

精神疾病也深深地触动了我自己的生活。几年前，我的母亲与阿尔茨海默氏病做了长期斗争之后去世了。看到她逐渐失去她对所爱的人的记忆，凝视着她的眼睛，发现她不知道我是谁，真是令人心碎。我能看到人性的火花慢慢熄灭。她花了一辈子的努力养活一个家庭，却享受不了自己的黄金岁月，她失去了所有的最美好的记忆。

我和其他许多人在幼儿时代的伤心经历，都会在整个世界重演。我的愿望是随着神经科学的快速发展，有一天会减轻精神病人和痴呆病人的痛苦和折磨。

是什么推动了这场革命？

从大脑扫描源源不断地涌现的数据现在正被解码，其中的进展是惊人的。一年几次的报纸大字标题预示着一个新的突破。自从望远镜发明以来，人类花了350年的时间进入了太空时代，但自从磁共振成像（MRI）和先进的脑部扫描引进以来，仅仅用了15年的时间就有效地把大脑和外部世界连接起来。为什么这么快，还有多少奇迹将要来临呢？

这种快速进展的部分原因是因为今天的物理学家对电磁有一个很好的了解，它支配电信号通过我们的神经元。用于计算天线、雷达、无线电接收机和微波塔物理学的詹姆斯·克拉克·麦克斯韦（James Clerk Maxwell)的数学方程，是形成磁共振成像技术的基石。最终解决电磁学的秘密花费了数个世纪，但神经系统科学可以享受这个伟大的努力的成果。在本书第一部分，我将概括大脑的历史，并解释众多的新仪器是怎样离开物理实验室，和给我们思想力学（mechanics of thought）以辉煌的彩色描绘。因为在任何有关大脑的讨论中，意识都扮演着中心角色，我也给出一个物理学家的看法，提供一个包括动物王国在内的意识的定义。事实上，我提供了一份意识的排名，显示怎么可能给各种类型的意识分配一个数字。

但要充分回答这个技术将进展到什么程度的问题，我们也不得不看看摩尔定律（Moore’s law），它说计算机的能力每两年增加一倍。我常常给出一个简单的事实让人感到惊奇，你今天的手机比美国宇航局在1969年将两个人送上月球时所有的计算机功能还要强大。计算机现在足够强大到记录从大脑发出的电子信号和部分解码成我们熟悉的数字语言。这使得大脑直接与计算机接口以控制周围的任何对象成为可能。这个快速增长的领域是所谓的“脑-机接口”（BMI，brain-machine interface），其关键技术是计算机。在本书第二部分，我将探讨这一新技术，它使得记录记忆、读心、录制我们的梦想和心灵感应成为可能。

在本书第三部分，我将研究另一种形式的意识，从梦想、药物、心理疾病到机器人，甚至外星人。在这里，我们还将了解控制和操纵大脑对付疾病，如抑郁症、帕金森氏症、阿尔茨海默氏症和许多更多疾病的潜力。我也将通过由美国总统奥巴马宣布的“推进创新型神经技术开展大脑研究”（或“大脑研究计划”）和欧盟的“人类大脑工程”项目，仔细阐述对大脑的研究。这些个项目可能拨款数十亿美元用于解码大脑的通路，所有的方法都要到神经级别。这两个相互碰撞的项目将毋庸置疑地开启一个全新的研究领域，让我们用新的方式来治疗精神病，也揭示意识的最深层的秘密。

在我们给出意识的定义后，我们也可以用它来探索非人类的意识（即机器人的意识）。机器人能变得如此先进吗？它们会有情感吗？它们会造成威胁吗？我们还可以探索外星人的意识，他们可能有着与我们完全不同的目标。

在附录中，我将讨论在所有科学中也许是最奇异的思想，一个来自量子物理学的概念，即意识也许是现实世界基础的基础。

在这个迅速发展的领域中不乏建议，只有时间会告诉你，哪些是头脑发热的科幻小说作家做的白日梦，哪些是代表未来科学研究的可信赖的途径。神经科学的进展已是一个天文数字，在很多方面，关键是现代物理学，它使用电磁和核力的全部力量去探测隐藏在我们头脑中的巨大秘密。

我要强调的是，我不是一个神经科学家。我是一个理论物理学家，对大脑有着持久的兴趣。我希望一个物理学家的观点可以帮助进一步丰富我们的知识，给出在宇宙中最常见的和最神秘的物体：我们的大脑，一个全新的理解。

但鉴于全新的观点发展的步伐极快，更重要的是我们对大脑是如何构成的要有坚实的了解。

让我们首先讨论现代神经科学的起源，一些历史学家认为，它是从一颗铁钉穿过某个菲尼亚斯·盖奇(Phineas Gage)的大脑开始的。这一开创性的事件引发了连锁反应，打开了对大脑进行严肃的科学研究的大门。虽然对盖奇先生这是一个遗憾的事件，但它却为现代科学铺平了道路。

第一部分　心灵和意识

BOOK I

THE MIND AND CONSCIOUSNESS

1　揭开心灵

我对我们有时称之为“心灵”的大脑的基本认识是：它的工作是其解剖学和生理学的结果，仅此而已。

——卡尔·萨根（**Carl Sagan**）

事故发生在1848年，当时菲尼亚斯·盖奇(Phineas Gage)是佛蒙特州的一个铁路工头，当炸药意外爆炸时，一根三英尺七英寸（**1.13**米）长的铁棒直接打到他的脸上，从他的大脑前额穿进去，从头顶穿出来，最终落到八十英尺（**24.4**米）开外的地方。他的同事们惊呆地看到他们工头的大脑的一部分被掀掉了，于是马上叫来医生。让工人们（甚至是医生）惊愕的是盖奇先生没有当场死亡。

他半昏迷了数周，最终似乎是完全康复了。（2009年，一张罕见的盖奇的照片浮出水面，显示一个英俊潇洒、充满自信的男人，他的头部和左眼受伤，手里握着那根铁棒。）但这一事件发生后，盖奇的同事们开始注意到他的性格出现了急剧变化。一个活泼开朗、乐于助人的工头，成了一个爱骂人的、怀有敌意的和自私的人。女士们被警告离他远点。约翰·哈洛（John Harlow）博士，他的主治医生，发现盖奇“任性和波动，计划了许多未来要做的事情，但还没有做就很快放弃了，因为又出现别的似乎更可行的事情。他的智力和表现好像孩子一样，却有着一个强壮的人所拥有的野兽般的激情”。哈洛博士注意到他“彻底改变了”，他的同事说“他不再是盖奇了”。1860年盖奇死后，哈洛博士保留了他的头骨和那根击碎他头骨的铁棒。对此头颅的详细的X射线扫描已经证实，铁棒在前额后面称为额叶脑区的地方造成了巨大破坏，左、右大脑半球都有破坏。

这个令人难以置信的事故不仅改变了菲尼亚斯·盖奇的生活，它也改变了科学的进程。此前的主导思想是：大脑和灵魂是两个独立的实体，称为二元论哲学。但越来越清楚的是，盖奇的大脑额叶损伤引起了他个性的突然变化。接下来，这又引起科学思维模式的转变：也许是大脑的特定区域与一定的行为有关吧。

布罗卡的大脑

1861年，盖奇去世后仅仅一年，这种观点通过皮埃尔·保罗·布罗卡（Pierre Paul Broca）的工作得到进一步巩固，他是巴黎的一位医生，记录了一个病人，这个病人除了严重的语言缺陷外，其他一切似乎都正常。病人能完美地认识和理解语音，但他只能发出一个声音，“潭”。病人去世后，布罗卡医生通过尸检证实了病灶在患者的左颞叶，接近他的

左耳的大脑区域。布罗卡医生后来确认12个类似病历的病人在这一特定区域都有大脑损伤。今天，有颞叶损伤的患者，病灶通常在大脑左半球，被认为患有布罗卡失语症。（在一般情况下，这种疾病的患者可以理解别人说的话，但什么话都说不出，或者在说话时丢掉很多词。）

不久之后，在1874年，德国医生卡尔·韦尼克(Carl Wernicke)描述了有相反问题的患者。他们能清楚地表达，但他们不能理解书面和口头的语言。这些患者往往能流利地说，语法和句法都对，但带有毫无意义的词和话。不幸的是，这些患者往往不知道他们是在胡言乱语。韦尼克进行尸体解剖确认，这些患者在距离左颞叶不远的地方遭受了损伤。

布罗卡和韦尼克的工作在神经科学中是一个里程碑式的研究，建立了行为问题，如语音和语言障碍，与大脑特定区域的损伤之间的明确关系。

另一个突破发生在战争的混乱时期。在历史上，有许多宗教禁忌禁止人体解剖，这严重制约了医学进步。然而，在战争中，流血的士兵在战场上死亡的数量数以万计，制定有效的医疗处理方法成为医生的一项紧迫任务。在1864年普鲁士与丹麦的战争期间，德国医生古斯塔夫·弗里奇（Gustav Fritsch）治疗过很多头部有伤口的士兵，碰巧注意到当他碰到大脑的一个半球时，身体的另一侧经常抽搐。后来弗里奇系统地证实，当他用电刺激大脑时，左半球大脑控制身体的右侧，反之亦然。这是一个惊人的发现，证明大脑基本上是电性的，大脑的特定区域控制身体另一侧的一部分。（令人惊奇的是，早在几千年前，罗马人就有电子探针用于治疗大脑的记录。在公元43年，记录显示，克劳狄皇帝的宫廷医生用带电荷的电鳐 [torpedo fish，又叫鱼雷鱼] 治疗患有严重头痛病的病人。）

在大脑与身体之间有电通路连接这个认识，直到20世纪30年代才有了系统的分析，那时怀尔德·潘菲尔德（Wilder Penfield）医生开始治疗癫痫病患者，这些病人经常出现惊厥和癫痫发作，可能危及生命。对他们来说，最后的选择是做脑外科手术，去掉部分头骨和暴露大脑。（因为大脑没有疼痛感，病人可以在整个过程中有意识，因此潘菲尔德医生在手术期间仅用局部麻醉。）

潘菲尔德医生注意到，当他用电极刺激皮层的某一部分时，身体的不同部位会回应。他突然意识到，他可以在皮层的特定区域和人体之间绘制一幅粗略的一对一的对应图。他绘制的图是如此之准确，以至今天仍然几乎原封不动地在使用它。这些图立即对科学界和公众产生了影响。在这种图中，你可以看到大脑的哪一区域大致控制哪种功能，以及每个功能的重要程度。例如，因为我们的手和嘴对于生存是如此的重要，因此大量的脑力是致力于控制它们的，而我们背部的传感器官在大脑中则根本没有寄存器。（见图1。）

此外，潘菲尔德发现通过刺激颞叶的几个地方，他的病人突然清晰

地回忆起遗忘很久的记忆。一个病人在脑外科手术中，突然脱口而出：“我好像……站在高中的门口……。我听到妈妈在电话里交谈，告诉我的姨妈那天晚上过来。” 潘菲尔德发现他打开了埋藏在大脑深处的记忆。他在1951年发表了他的结果，这些结果产生了我们对大脑了解的另一个转变。

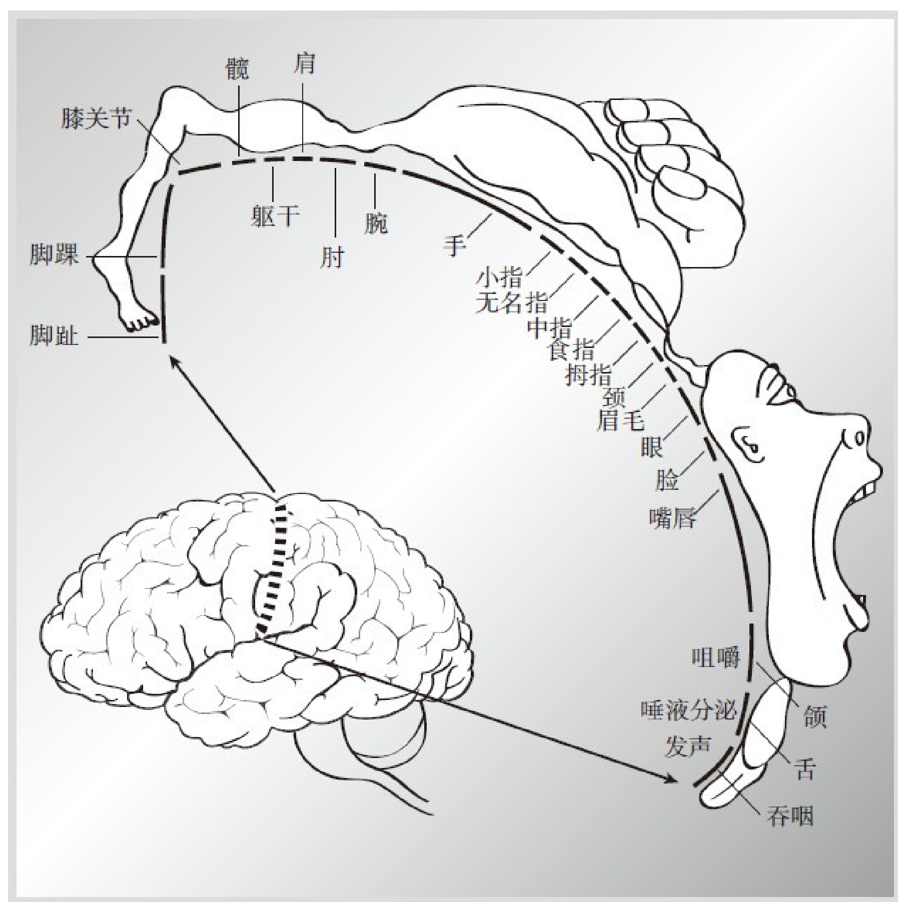


图1　怀尔德·潘菲尔德医生绘制的大脑运动皮层图，显示大脑的哪个区域控制身体的哪个部分。

大脑图

在20世纪50年代和60年代之前，有可能创造一个粗略的大脑图，确定大脑的不同区域甚至识别其中的一些功能。

在图2中，我们看到大脑外层的大脑皮层分成四瓣。在人体中大脑皮层是高度发达的。大脑的所有叶是专门处理从我们的感官传来的信号的，只有位于前额后面的额叶除外。前额叶最前面的部分，大部分是用

来处理理性思维的。你现在正在读的信息就在你的大脑前额叶皮层处理。这一地区的损伤可能会损害你的计划或盘算未来的能力，如菲尼亚斯·盖奇的病例。这是评估从我们的感官来的信息和执行未来行动的区域。

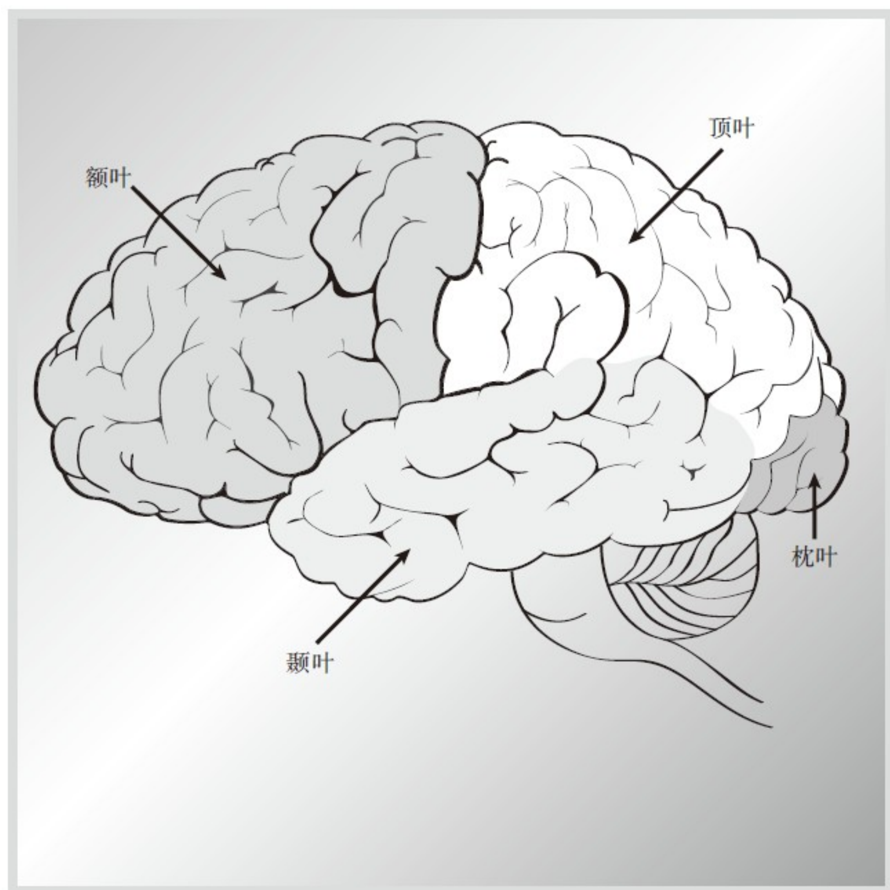


图2　大脑皮层的四个叶负责不同的但相互关联的功能。

顶叶位于大脑的顶部。大脑右半球控制感官和身体形象；大脑左半球控制动作和语言的某些方面。这个地区的损伤会导致许多问题，比如不能定位自己的身体部位。

枕叶位于大脑的最后面，处理从眼睛来的视觉信息。这一地区的损伤可以导致失明和视觉障碍。

颞叶控制语言（仅在左侧），以及面部和一定的情感的视觉识别。颞叶损伤可以让我们无法说话或失去认识熟悉面孔的能力。

进化的头脑

身体的其他器官，如肌肉、骨骼、肺，似乎是显而易见的，我们可以立即了解它们。但是大脑的结构似乎是以一种随机的方式拼凑在一起的。事实上，试图给大脑绘图经常被称为“给傻瓜制图”。

1967年，美国国家精神健康研究院的医生保罗·麦克莱恩(Paul MacLean)为了了解看似随机的大脑结构，将查尔斯·达尔文的进化论应用到大脑。他把大脑分成三个部分。（自那时以来，研究表明，这种模型可以改进，但我们可以用它作为一个粗略的组织原则来解释所有的大脑结构。）首先，他注意到我们大脑中心的一部分，包括脑干、小脑、基底核，与爬行动物的大脑几乎相同。被称为“爬虫类大脑”，这是大脑的最古老的建筑，控制动物的基本功能，如平衡、消化、呼吸、心跳、血压等。它们还控制争斗、狩猎、交配和霸占地盘，这些是生存和繁殖所必需的。爬行动物的大脑可以追溯到5亿年前。（见图3。）

但随着我们从爬行动物进化到哺乳动物，大脑也变得更加复杂了，向周边发展和产生全新的结构。在这里，我们遇到了“哺乳动物大脑”，或边缘系统，位于大脑的中心附近，在爬行动物大脑部分的周围。在以社会群体方式生活的动物中，如猿类，这个边缘系统是突出的。它也包含了涉及情感的结构。由于社会群体动力学是非常复杂的，因此边缘系统是辨别潜在的敌人、盟友和竞争对手所必需的。

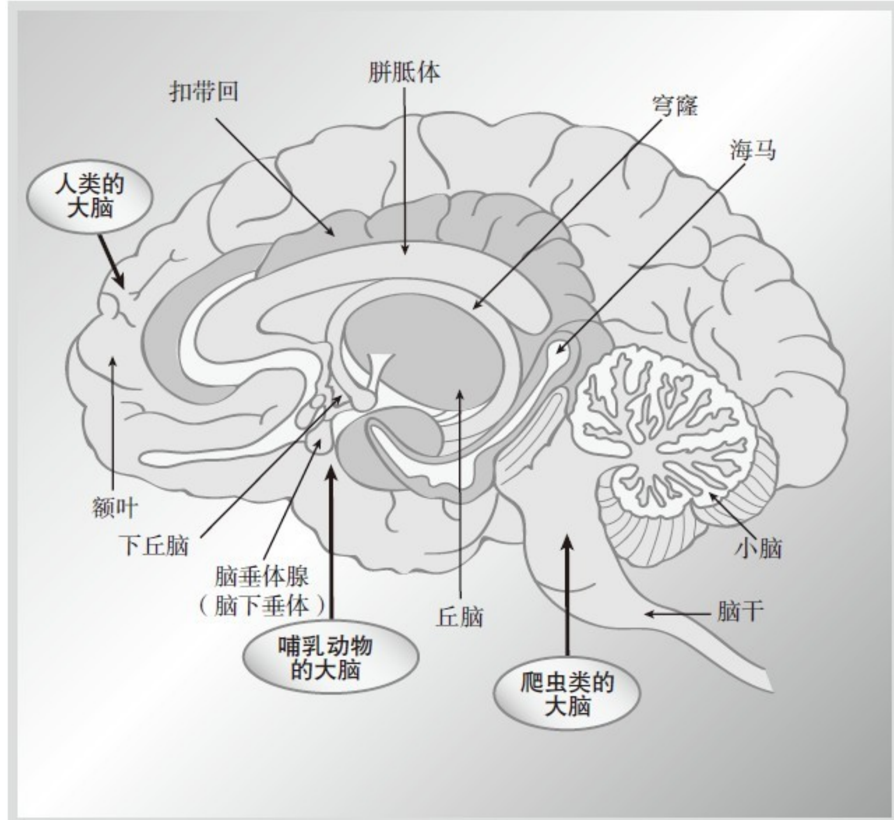


图3　大脑的进化史：爬行动物的大脑、大脑边缘系统（哺乳动物的大脑）和新大脑皮层（人类的大脑）。粗略地说，可以认为人类大脑的进化路径是从爬行动物大脑、哺乳动物大脑到人类大脑。

边缘系统的各个部分对于控制社会性动物的行为是极其重要的,这些部分包括：

· 海马。这是记忆的网关，在这里短期记忆被处理成长期记忆。之所以叫做“海马”，是为了描述其奇怪的形状。此处损伤将破坏产生新的长期记忆的能力。你就会停留在目前的状况。

· 杏仁核。这是产生情感的地方，尤其是恐惧，情感首先注册和产生在这个地方。它的名字意味着它是“杏仁状的”。

· 丘脑。这就像一个中继站，收集从脑干来的感官信号，然后将它们发送到不同的皮层。它的名字的意思是“内室”。

· 下丘脑。它调节体温、我们的昼夜节律、饥饿、口渴、生殖和心情方面。它位于丘脑之下，由此得名。

最后，我们有哺乳动物大脑的第三个和最新的区域——大脑皮层，这是大脑的外层。大脑皮层内的最新的进化结构是新大脑皮层（意思是“新皮”），它控制高级认知行为。这是人类最高度发达的部分：占我们大脑的质量多达80%，但只有一张餐巾纸那么厚。在老鼠中新皮层是光滑的，但是在人类中它是高度盘绕的，非常复杂的，它允许大量的表面面积被塞进到人类的头骨中。

从某种意义上说，人类的大脑就像一个博物馆，包含数百万年的进化中所有以前阶段的残留，在尺寸和功能上向外、向前迅速扩大。（这也是一个婴儿出生所采取的大致的路径。婴儿的大脑向外、向前扩展，或许是模仿我们演化的各个阶段。）

虽然新皮层表面上看起来仿佛是平常的，但实际并不是这样。在显微镜下，你可以看到大脑的复杂结构。大脑中的灰质由数十亿个微小的、被称为神经元的脑细胞组成。就像一个巨大的电话网络，它们通过树突接收其他神经元的信息，树突就像从神经元一端发芽的卷须。在神经元的另一端，有一个长的纤维称为轴突。最后轴突通过它们的树突连接到上万个其他的神经元。在二者之间的交界处有一个称为突触的小间隙。这些突触像大门，调节大脑内的信息流。被称为神经递质的特殊化学药品能进入突触改变信号流。因为神经递质，如多巴胺、去甲肾上腺素和血清张力素，有助于控制穿过大脑的各种各样途径的信息流，所以它们对我们的情绪、情感、思想和精神状态有巨大的影响。（见图4。）

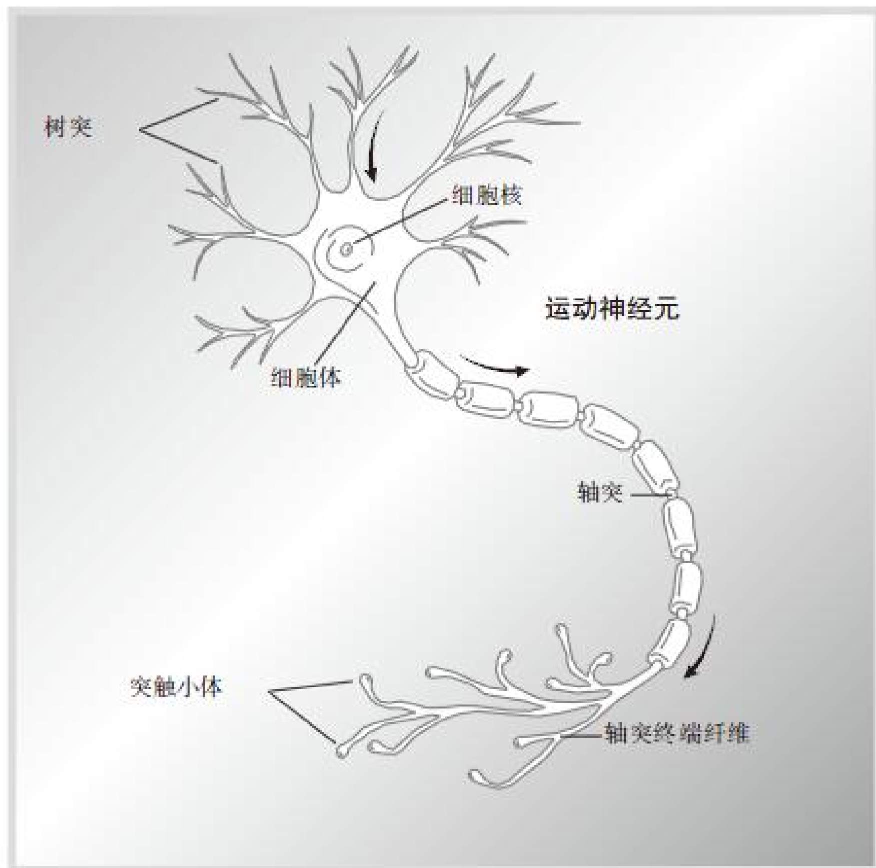


图4　神经元图。电信号沿着神经元的轴突传递直到遇上突触。神经递质可以调节通过突触的电信号。

对大脑的这种描述大约代表了20世纪80年代之前的知识状态。然而，在20世纪90年代，随着物理学领域新技术的引进，思想力学（mechanics of thought）开始极其细致地被揭开，引起最近的科学发现的大爆炸。这个革命的一个动力是磁共振成像（MRI）机器。

磁共振成像：进入大脑的窗口

要理解为什么这种根本性的新技术能够帮助解码大脑思维的原因，我们必须将注意力转移到物理学的一些基本原理上。

无线电波，电磁辐射的一种类型，可以恰当地通过组织而不损害组织。　　磁共振成像（MRI）机器利用这一优势，使电磁波自由地穿透颅骨。在这个过程中，这项技术给了我们一些曾经被认为是不可能捕捉到的绝妙的照片：在大脑产生感觉和情绪时的内部运作。在MRI机器上看见闪烁的灯光跳来跳去，可以追踪思想在大脑内的移动。这就像一个时

钟嘀嗒作响时能够看到它的内部一样。

你首先会注意到MRI机器是很大的，它的圆柱形磁线圈可产生一个磁场，比地球磁场大2万～6万倍。MRI机器之所以重达一吨，占满整个房间，花费数百万美元，其主要原因是有一个巨大的磁铁。（MRI机器比X射线机更安全，因为它们不产生有害的离子。CT扫描［X射线计算机断层成像扫描］也可以创建三维图片，但照射身体的剂量是普通X射线剂量的很多倍，因此必须小心控制。相比之下，MRI机器使用时安全性好。然而，一个问题是对工作人员不利。如果打开舱门的时间错误，磁场强大到足以把工具以高速度甩到空中。造成人员受伤，甚至被杀死。）

磁共振成像（MRI）机器的工作如下：病人平卧并插入到包含两个产生磁场的大线圈的圆筒中。当磁场打开时，身体内的原子核的行为很像指南针的指针：它们沿磁场方向排列。然后产生一个小的无线电脉冲能量，使我们身体中的一些原子核快速翻转颠倒。当这些原子核恢复到正常位置后，它们发出二次无线电脉冲能量，然后通过MRI机对这些脉冲进行分析。通过分析这些微小的“回声”，可以重建这些原子的位置和性质。像蝙蝠使用回声来确定在其飞行路径上的物体的位置一样，通过MRI机器上创建的回声使科学家们能够重新创建大脑内部的非凡的影像。然后用电脑重新构建原子的位置，给出我们美丽的三维图像。

在核磁共振成像的最初期，它们只能显示大脑及各区域的静态结构。然而，在20世纪90年代中期，发明了一个新型的MRI机器，被称为“功能性”MRI，或fMRI（功能性磁共振成像），它能检测大脑血液中氧的存在。（对于不同类型的MRI机器，科学家们有时会在MRI前加一个小写字母，但我们将用缩写MRI来表示各种类型的磁共振成像机。）MRI扫描不能直接检测神经元中的电子流，但由于细胞必须通过氧提供能量，因此含氧的血液能间接跟踪神经元中电能的流动和显示各种不同的大脑区域之间的相互影响。

这些磁共振成像（MRI）扫描结果已经明确否定了认为思想是集中在一个单一的中心的想法。相反，人们可以看到大脑在思想时电能在大脑的不同部位流动。通过跟踪我们的思想所采取的路径，核磁共振成像扫描为揭示阿尔茨海默氏症、帕金森氏症、精神分裂症的性质和其他的心理疾病带来了曙光。

磁共振成像机的最大优势是其精准的定位大脑各微小部分的能力，可以小到毫米级别的几分之一。MRI扫描产生的不只是二维屏幕上称为像素的点，而且是在三维空间中称为“体素”（voxels）的点，产生三维的成千上万个明亮彩色点的集合，形状为大脑。

由于不同的化学元素对不同的无线电频率有回应，因此可以通过改变无线电脉冲的频率来识别身体的不同元素。值得注意的是，功能性磁共振成像（fMRI）机测量血液流动瞄准的是血液中含有的氧原子，但

MRI机器也可以识别其他原子。在过去的10年中，一种新形式的被称为“磁共振扩散张量成像”的MRI出现了，称为DTI，可检测大脑中的水的流动。因为水是大脑的神经通路，所以DTI产生像花园里生长的葡萄藤网络那样漂亮的图像。科学家们现在可以立即确定大脑的某些部分和其他部分是怎样相连的。

然而MRI技术有几个缺点。虽然它们的空间分辨率是前所未有的，可以定位小到三维空间中针尖大小的体素，但核磁共振成像时的分辨率不好。为了跟踪大脑中血液的路径几乎需要整整一秒钟，这听起来或许不算什么，但记住，电信号通过大脑几乎是瞬间的，因此MRI扫描可能错过一些思维模式的复杂细节。

另一个问题是成本，一台MRI机动则数百万美元，所以医生经常要共享机器。但像其他技术一样，随着时间的演进其成本会降低。

然而，过高的成本并没有阻止人们寻找MRI机在商业上的应用。一个想法是将磁共振成像扫描用作测谎仪，根据研究，测谎的精度可达95%或更高。对测谎的精度高低仍然是有争议的，但基本的想法是，当一个人说谎时，他同时也必须知道真相，要编造谎言，还要快速分析这个谎言与先前已知事实的一致性。今天，一些公司声称：MRI技术表明，当一个人说谎时前额叶和顶叶会亮起来。更具体地说，“眶额叶皮层”（眶额叶皮层除了其他功能外，还可作为大脑的“事实-校核器”在有错误时警告我们）变得活跃。这个地区就位于我们眼眶的后面，并因此得名。这一理论认为，眶额叶皮层为了解真相与谎言的差异进入超速运行状态。（在一个人说谎时，大脑的其他区域也亮起，如上内侧［superiormedial］皮层和涉及认知的下外侧前额叶皮层。）

已经有一些商业企业提供MRI机器作为测谎仪，使用这些机器处理案件正进入法院系统。但重要的是应当注意，这些MRI扫描只在某些区域显示大脑活动的增加。而DNA结果的精度有时可以达到一百亿分之几或更高，MRI扫描却不能达到这个精度，因为编造一个谎言涉及大脑的许多区域，并且大脑的这些区域也负责处理其他类型的思想。

脑电图扫描

另一个探测大脑深处的有用工具是脑电图（EEG），即脑动电流图。脑电图的引进可回溯到1924年，但直到最近才有可能使用计算机让从每个电极涌出的所有数据变得有意义。

为使用脑电图（EEG）机，病人通常戴上一个看上去很新潮的头盔，头盔表面有很多的电极。（更先进的版本是在头上戴上一个包含一系列微小电极的发网。）这些电极检测在大脑中流动的微小的电信号。

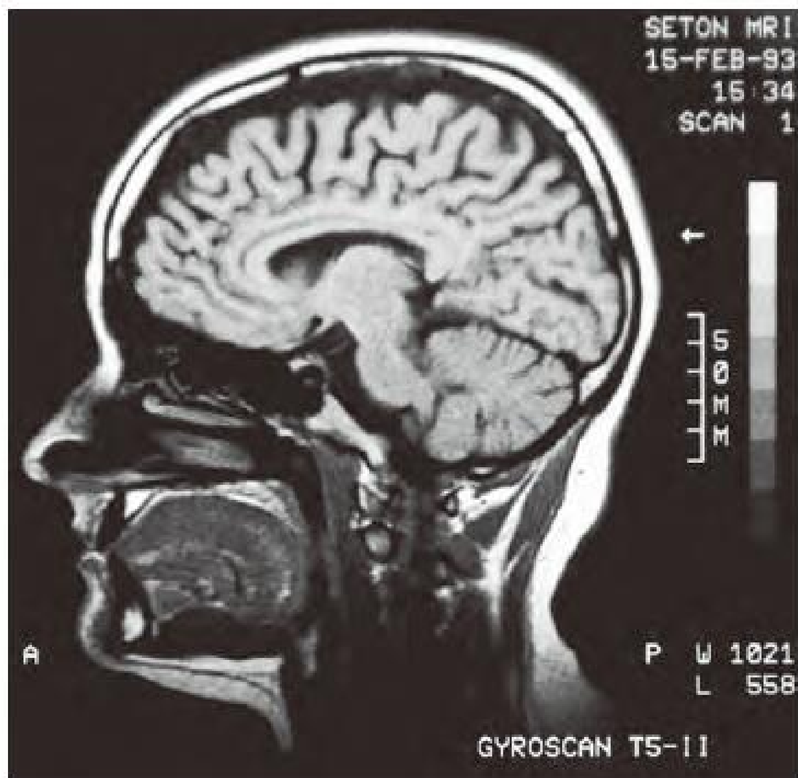




图5　上图显示一个功能性磁共振成像机拍摄的图像，显示强烈的心理活动区。下图显示一个磁共振扩散张量成像机制作的花卉状图案，可以跟踪神经通路和大脑的连接。

脑电图（EEG）扫描在几个关键的地方与磁共振成像（MRI）扫描不同。MRI扫描，正如我们已经看到的，发射无线电脉冲到大脑，然后分析“回声”。这意味着你可以改变无线电脉冲以选择不同的原子进行分析，用起来相当灵活。然而，脑电图机完全是被动的；也就是说，它分析大脑自然发出的微小的电磁信号。脑电图的优越性在于它能记录整个大脑中涌动的广泛的电磁信号，使科学家们可以测量在睡觉、沉思、放松、做梦……时大脑的整体活动。不同的意识状态，这些微小的电磁信号以不同的频率振动。例如，深睡眠对应于δ波（德尔塔波），振动频率为每秒0.1～4次(**0.1~0.4**赫兹)。积极的心理状态，如解决问题时对应于β波（贝塔波），振动频率为每秒12～30次(**12~30**赫兹)。这些振动使大脑的各个部分能共享信息和彼此沟通，即使它们是位于大脑的两侧。MRI扫描测量血流量一秒钟只能几次，而脑电图扫描可瞬间测量电的活动。

脑电图（EEG）扫描的最大优势是它的方便性和低成本。甚至高中的学生在自家的客厅里，在他们的头上戴上EEG传感器就能进行实验。

然而，脑电图扫描的主要缺点是它已停滞发展有几十年，它的空间分辨率非常差。脑电图扫描拾取的脑电信号在它穿过颅骨后已经扩散了，使得它很难检测到源于大脑深处的异常活动。看着这个混乱的脑电图扫描信号输出，几乎不可能肯定地知道是大脑的哪一部分产生的。此外，轻微的运动，如移动手指，可以使信号产生畸变，有时使它无用。

正电子发射断层显像扫描

来自物理世界的另一个有用的工具是正电子发射断层显像（PET）扫描，它通过定位葡萄糖的存在以计算脑能量的流动，因为葡萄糖分子是为细胞提供能量的。像我高中时所做的云室一样，PET扫描使用葡萄糖内从钠22发出的亚原子粒子。为开始PET扫描，将一种特殊的含有轻微放射性葡萄糖的溶液注射到病人身上。糖分子中的钠原子被放射性钠22原子取代。每当一个钠原子衰变时，它会发出一个正电子或阳电子，它很容易被传感器检测到。跟踪葡萄糖中放射性钠原子的路径，可以描绘活生生的大脑内的能量流。

正电子发射断层显像（PET）扫描和磁共振成像（MRI）扫描一样有很多相同的优点，但空间分辨率没有MRI照片那样好。然而，PET测量的不是血流量，血流量仅仅是身体能量消耗的一个间接指标，PET扫描测量的是能量消耗，所以它与神经活动的关系更密切。

然而，正电子发射断层显像（PET）扫描还有另一个缺点。与磁共振成像（MRI）扫描和脑电图（EEG）扫描不同，PET扫描有轻微的放射性，所以患者不能持续进行PET扫描。一般来说，由于辐射的危险性，一个人一年进行PET扫描不能超过一次。

脑磁

在过去的10年中，许多新的高技术设备已进入神经科学家的工具包，包括经颅电磁扫描仪（TES）、脑磁图（MEG）、近红外光谱法（NIRS）和光遗传学（optogenetics），等等。

特别是，磁已被用来系统地关闭大脑的特定部位而无须切开它。这些新工具的基本物理学是一个快速变化的电场能够产生一个磁场，反之亦然。脑磁图（MEG）被动测量大脑中电场变化产生的磁域。这些磁场是微弱的和极其微小的，只有地球磁场的十亿分之一。像脑电图（EEG）一样，脑磁图（MEG）的时间分辨率非常好，可到一千分之一秒。但其空间分辨率很差，仅一个立方厘米。

不同于脑磁图（MEG）的被动测量，经颅电磁扫描仪（TES）产生大量的电脉冲，从而创造一个突发的磁场能量。TES放在大脑的旁边，产生的磁脉冲穿透颅骨，在大脑内产生另一个电脉冲。反过来，这个二次电脉冲足以关闭或抑制大脑特定区域的活动。

以前，科学家不得不依靠中风或肿瘤让大脑的某些部分不工作，从而决定他们应做什么。但有了TES，我们就可以随意打开或抑制大脑的各个部分。通过在大脑中一个特定点注入磁能，只需通过观察一个人的行为改变，便可以确定它的功能。（例如，通过注入磁脉冲到左颞叶，就会看到它对我们说话的能力产生不利的影响。）

经颅电磁扫描仪（TES）的一个潜在缺点是，这些磁场不能穿透到大脑内部很深的地方（因为磁场减弱的速度远远超过通常电流的平方反比定律给出的速度）。TES在关闭贴近颅骨的这部分大脑是非常有用的，但是磁场不能达到重要的位于大脑深处的中心部位，如边缘系统。但未来一代的TES装置可以通过增加磁场强度和精度，克服这一技术问题。

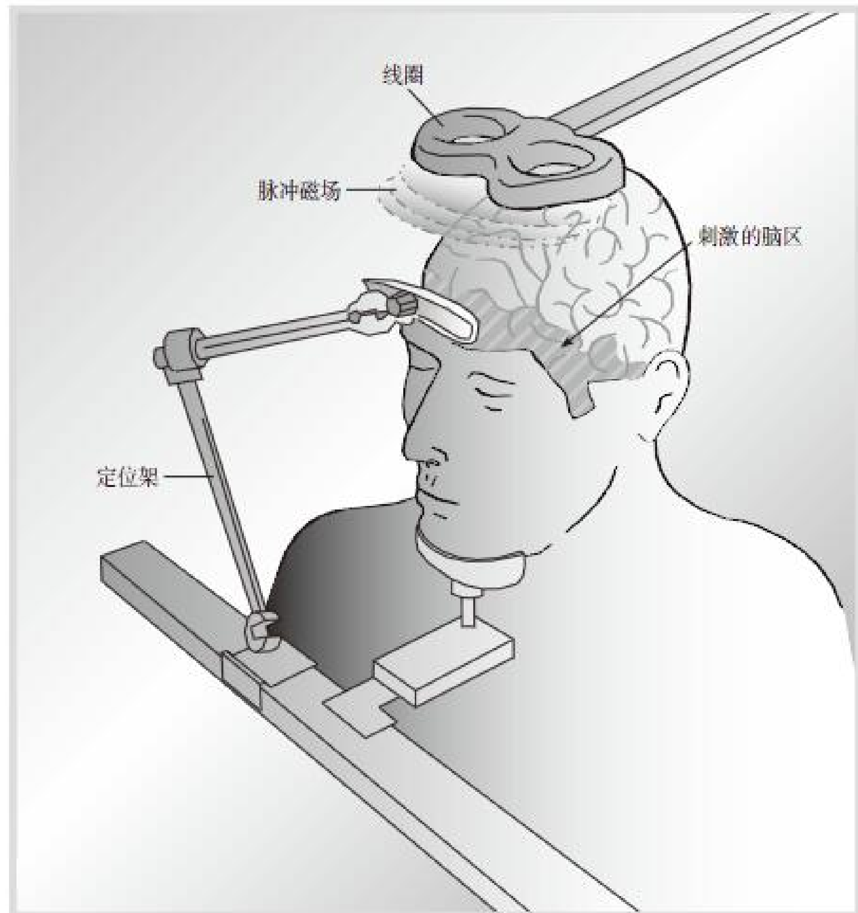


图6　经颅电磁扫描仪和脑磁图仪，它们采用磁性而不是无线电波穿透颅骨和确定大脑内部思想的本质。磁性可以暂时使大脑的各个部分不工作，让科学家们能够安全地确定这些区域的表现，而不依赖于中风病人。

脑深部电刺激

深部脑刺激术（DBS）已被证明是神经病学家另一个至关重要的工具。潘菲尔德医生原来使用的探针较粗。今天，这些电极可以细得像头发丝，并能抵达大脑深层的特定区域。DBS不仅允许科学家找到大脑的各个部分的功能，它也可以被用来治疗精神障碍。DBS已经证明了它对治疗帕金森氏病的价值，这种病人大脑的某些区域过度活跃，通常会使手产生无法控制的颤抖。

最近，这些电极可以瞄准大脑的一个新区域（称为布罗德曼区25号），抑郁症患者的这个区域经常过度活跃，因此治疗和药物对他们不起作用。深部脑刺激术（DBS）使这些病人在经受了几十年的折磨和痛苦后神奇般地缓解了。

每年，都会发现深部脑刺激术（DBS）新的用途。事实上，几乎所有的大脑的主要障碍都用这个技术和其他新的大脑扫描技术重新进行了检查。这将是一个令人兴奋的新的诊断和治疗疾病的领域。

光遗传学——照亮了大脑

但是，也许光遗传学（optogenetics）是神经病学家的工具包里最新颖、最激动人心的仪器，它曾经被视为科幻小说。这个仪器像一根魔杖一样，将一束光线照射到大脑上，激活控制行为的某些通路。

令人难以置信的是，引起细胞活动的光敏感基因可以通过精确手术直接植入到神经元中。然后，打出一道光束，神经元被激活。更重要的是，这使得科学家们可以激活这些通路，这样你就可以拨动开关以打开和关闭某些行为。

光遗传学这项技术虽然只有十多年的历史，但已被证明成功地控制了某些动物的行为。打开一盏灯的开关，就可能使果蝇突然飞出，蠕虫停止扭动，小鼠疯狂地绕圈跑。对猴子的试验，甚至人体试验也开始了探讨。该技术有很大的希望将直接应用在治疗疾病上，如帕金森氏症和抑郁症。

透明的大脑

像光遗传学一样，另一个壮观的新发展是使大脑完全透明，让神经通路完整暴露在肉眼之下。在2013年，斯坦福大学的科学家宣布，他们已经成功地让老鼠的整个大脑完全透明，并使人的部分大脑透明。该项研究是如此的出色，这令《纽约时报》的头版登出了这样的标题："大脑像果冻一样清晰地展现，让科学家们去探索。"

在细胞水平上，单个的细胞看上去是透明的，它所有的显微组分是充分暴露的。然而，一旦数十亿个细胞放在一起形成像大脑这样的器官后，脂类添加物（脂肪、油、蜡和不溶于水的化学物）会使器官变得不透明。这项新技术的关键在于去除脂类的同时保持神经元的完整。斯坦福大学的科学家通过将大脑放在水凝胶（凝胶状物质主要由水构成）中做到了这一点，水凝胶与所有大脑的分子结合，但不与脂质结合。通过将大脑放在有电场的肥皂溶液中，用该溶液冲洗大脑，带走脂质，留下透明的大脑。加入染料后可以使神经通路清晰可见。这将有助于识别和绘制大脑的许多神经通路。

让组织透明不是新的方法，但要精确地得到使整个大脑透明的合适的条件则颇费心计。"我烧掉和融化了一百多个大脑，"一位在这项研究的领军科学家钟光勋（Kwanghun Chung）博士承认说。被称为克拉里蒂（Clarity，钻石净度）的这项新技术，也可以应用于其他器官（甚至多年前保存在甲醛这样的化学物质中的器官）。他已经制备出透明的

肝、肺和心脏。这项新技术已开始在医学的各个领域中应用。特别是，它将加速定位大脑的神经通路，因此成为大量研究和资助的重点。

四种基本作用力

第一代脑扫描的成功的确是惊人的。在它们引进之前，只有30个左右的大脑区域是确切知道的。现在仅磁共振成像（MRI）机就可以识别200～300个大脑区域，打开了整个大脑科学的全新领域。仅仅在过去的15年内就有了这么多的源于物理学的新扫描技术，人们不禁会问：还会有更多吗？答案是肯定的，其种类会比原来的更多更完善，但并不都是完全的新技术。这是因为支配宇宙的只有四种基本作用力：引力、电磁力、弱核力和强核力。（物理学家们曾试图找出第五种力的证据，但到目前为止，所有这样的尝试都失败了。）

电磁力，照亮我们的城市和代表着电和磁的能量，几乎是所有新的扫描技术的源泉（唯一的例外是正电子发射断层显像［PET］扫描，它是由弱核力控制的）。因为物理学家已经有超过150年与电磁力打交道的经验，创造新的电场和磁场没有什么神秘的，所以任何新的大脑扫描技术将最有可能是一种新型的现有技术的修改，而不是全新的东西。与大多数技术一样，这些机器的尺寸和成本将下降，这大大增加了这些精密仪器的广泛使用。物理学家们正在进行基本计算，必须做些什么才能将MRI机安装到手机里。同时，这些大脑扫描面对的最根本的挑战是分辨率：空间分辨率和时间分辨率。随着磁场更加均匀，电子器件变得越来越灵敏，MRI扫描的空间分辨率会增加。目前，MRI扫描只可以看到在几分之一毫米内的点或像素。但是每一点可能包含成百上千个神经元。新的扫描技术会进一步减少这个尺寸。这种方法的最终发展会创建一个类似磁共振成像（MRI-like）的机器，能识别单个神经元和它们的连接。

磁共振成像（MRI）机的时间分辨率也是有限的，因为它们分析的是含氧的血液在大脑中的流动。机器本身具有很好的时间分辨率，但追踪血液流动使它慢下来。在未来，其他的MRI机将能够找到与神经元的激活更直接连接的不同的物质，从而实现心理过程的实时分析。过去的15年的成功无论多么壮观，然而，它们还仅仅是对未来的尝试。

新的大脑模型

从历史上看，随着每一个新的科学发现，就伴随出现一种新的大脑模型。最早的大脑模型之一是“矮人”（homunculus），一个小人居住在人的大脑内并做出所有的决定。这种模型不是很有帮助的，因为它没有解释在矮人大脑里发生了什么。也许在矮人的大脑里还藏着一个矮人呢。

随着简单的机械装置的到来，又提出了一个机械大脑模型，比如一个时钟，大脑好比一个有机械齿轮和传动装置的时钟。这个比喻对列昂纳多·达·芬奇（Leonardo da Vinci)这样的科学家和发明家来说是有用的，他实际上设计了一个机器人。

19世纪末，蒸汽动力创造了新的帝国，又出现了另一个类比，即一个蒸汽发动机模型，能量以彼此竞争的方式流动。历史学家们猜测，这种水力模型影响了西格蒙德·弗洛伊德（Sigmund Freud）对大脑的描述，他认为在大脑中有三种力在不断地斗争：自我（代表自己和理性思维），身份（代表压抑的欲望），超我（代表我们的良心）。在这个模型中，如果由于这三种力之间的冲突而产生太大的压力，整个系统就有可能衰退或普遍崩溃。这个模型是巧妙的，连弗洛伊德自己也承认，它需要在神经元级别对大脑进行详细的研究，这将需要又一个世纪。

在20世纪早期，随着电话的出现，另一个类比又浮出水面，即大脑像一个巨大的交换机。大脑是一个连接到一个巨大网络的电话线网。意识是一长排的电话话务员坐在一个巨大的开关面板前，不断地插入和拔出电线。不幸的是，这个模型没有讲到这些信息是怎样连接在一起形成大脑的。

随着晶体管的出现，另一个模型成为时尚：计算机。传统的开关站被含有数以百万计晶体管的微芯片取代。也许，“心灵”只是一个运行在“湿件”（wetware，即脑组织而非晶体管）上的软件程序。该模型持续了很长时间，一直到今天，但它有其局限性。晶体管模型不能解释大脑是如何进行计算的，因为大脑所做的计算将需要一个像纽约市大小的计算机才能完成。而且大脑没有程序，没有Windows操作系统或奔腾芯片。（同时，有奔腾芯片的PC机的运行速度是非常快的，但它有一个瓶颈。所有的计算都必须通过这个单一的处理器。大脑是相反的。每个神经元的激活是相对缓慢的，但它有1 000亿个神经元同时处理数据，因此远远弥补了这个缺陷。一个缓慢的并行处理器可以打败一个非常快的单一处理器。）

最新的类比是互联网，它将数十亿台计算机连接在一起。在这种描述中，意识是一种由数十亿个神经元集体行动而奇迹般产生的“自然发生”现象。（这种描述的问题是，它完全没有讲到这个奇迹是怎样发生的。它用混沌理论这块地毯将大脑的所有复杂性掩盖起来。）

毫无疑问，这些类比有真理的内核，但没有人真正捕捉到大脑的复杂性。然而，对于大脑，我发现有一个大脑的类比是有用的（尽管还不是完全适用），将大脑比喻成一个庞大的公司。在这个比喻中，有一个庞大的官僚机构和管辖权限，在不同的办公室间有大量的信息流动渠道。但重要的信息，最终在首席执行官所在的指挥中心汇集起来，做出最后的决定。

如果将大脑比喻为大公司是有效的，那么它应该能够解释大脑的某

些特征：

· 大多数的信息是“潜意识”的——也就是说，首席执行官对在官僚机构内不断流动的、庞大的和复杂的信息一无所知。事实上，只有一小部分的信息最终到达首席执行官的书桌前，可以把它比作前额叶皮层。首席执行官只需要知道足以引起他注意力的信息就够了；否则，他会被巨量的无关的信息吞没。

这样的安排可能是进化的一个副产品，因为我们的祖先在面对紧急情况时，如果不这样做，就会被在大脑中泛滥的多余的潜意识信息所压垮。幸运的是，我们对在我们的大脑中处理的数以万亿的计算全然不知。当在森林里遇到一只老虎时，我们不再会为我们的胃、脚趾、头发……的状态而烦心。所有的心思就是怎么逃跑。

· “情感”是在低级水平上独立做出的快速决定。因为理性思维需要几秒钟，这意味着对紧急情况做出理性响应是不可能的；因此在大脑的低级区域，必须迅速地审时度势，做出一个情感决定，而不需高层的许可。

害怕、愤怒、恐惧这样的情绪都是在一个较低级别做出的瞬间的危险信号，是由进化所产生的，以警告指挥中心可能有危险或严重的情况发生。对情绪我们只有微弱的意识控制。例如，无论我们如何练习，面对大量听众演讲时，我们仍然会感到紧张。

《映射思想》（Mapping the Mind，又译《大脑的秘密档案》）的作者丽塔·卡特（Rita Carter）写道：“情感根本不是感觉，而是一组扎根在身体里的生存机制，它已经发展到使我们远离危险和推动我们去发现可能是有益的东西。”

· 大脑中有不断的争吵想要引起首席执行官的注意。不是由单一的矮人、CPU或奔腾芯片做出决策；而是指挥中心的各个分中心在彼此不断地互相竞争，争夺首席执行官的注意。所以思想不是流畅的、稳定的和连续的，而是不同的反馈回路不和谐地互相竞争。认为是“我”作为一个单一的、统一的整体在连续做出所有决策，是一种我们自己的潜意识心灵造成的错觉。

我们在心理上感到我们的心灵是一个单一的实体，连续流畅地处理信息，完全负责我们的决策。但从大脑扫描得出的画面与我们所有的心灵的感受完全不同。

麻省理工学院的马文·明斯基教授是人工智能的奠基人之一，他告诉我，我们的头脑更像是一个“思想的社会”，有不同的子模块，每一个模块试图与其他模块竞争。

当我采访哈佛大学的心理学家史蒂文·平克（Steven Pinker）时，我

问他，意识是如何从这些混乱中出现的。他说，意识就像一场暴风雨在我们的大脑中肆虐。他详细地阐述了这一点，他写道："我们直观地感觉有一个执行官'我'，坐在我们的大脑控制室里，扫描我们感官的印象和按动我们肌肉的按钮，这是一种错觉。意识原来是由分布在大脑中的事件的漩涡组成的。这些事件彼此争夺，想得到大脑的注意，当一个过程叫唤得比别的响时，大脑据理解释来自事实的结果，并炮制了一个单一的自我负责这一切的印象。"

· 最后的决定由指挥中心的首席执行官做出。几乎所有的官僚机构致力于为首席执行官积累和收集信息，但首席执行官只与各部门的主管接触。首席执行官试图调解涌进指挥中心的互相冲突的信息。冲撞在这里停止。位于前额叶皮层的首席执行官做出最后的决定。大多数的决定是由动物的本能做出的，而人类在筛选来自我们感官的不同机构的信息后，做出更高级别的决定和更高层次的决策。

· 信息流是分层的。由于大量的信息必须上传到首席执行官的办公室，或下传到支持人员，因此信息必须安排在嵌套的网络的复杂阵列中，具有许多分支。这就好比一棵松树，指挥中心在顶上，金字塔的树枝向下流动，扩展到许多分中心里。

当然，在官僚机构与思想结构之间是有差异的。任何官僚机构的第一条规则是："机构要扩大到将分配给它的空间填满。"但是浪费能源是大脑不能承受的一种奢侈。大脑仅消耗大约20瓦的功率（一盏昏暗的电灯泡功率），但这可能是在身体变得不正常之前可以消耗的最大能量。如果它产生更多的热量，就会造成组织损伤。因此大脑经常使用快捷方式节能。我们将在本书中看到我们尚不知晓的、由进化所精心制作的大脑节能的聪明和灵巧的装置。

"现实"是真的吗？

每个人都知道"眼见为实"这句话。然而我们看到的很多东西实际上是错觉。例如，我们看到的一个通常的景观，看上去似乎是一个完整的像电影一样的场景。事实上，在我们的视野中有一个漏洞，对应视网膜中的视神经的位置。无论我们往哪儿看都会看到这个难看的大黑斑。但是我们的大脑用裱糊的办法，用平均的办法填平了这个洞。这意味着我们的视觉的一部分实际上是假的，是由我们的潜意识产生的、欺骗我们的假象。

同时，我们只看到我们的视野中心，称为黄斑，很清晰。但黄斑外周部分是模糊的，这是为了节约能源。但是，黄斑是非常小的。为了在微小的黄斑内捕捉尽可能多的信息，眼睛不断地扫视周围。我们眼睛的这种快速运动被称为扫视运动。所有这一切都是下意识的，给我们一个我们的视野是清楚的和聚焦的错误印象。

当我还是个孩子的时候，我第一次在一张图中看到电磁频谱，极其绚丽，我很震惊。之前我完全不知道电磁频谱的很大一部分是我们完全看不见的（例如，红外线、紫外线、X射线、伽马射线）。我开始意识到，我的眼睛所看到只是一个小小的、现实的粗略近似。（有句老话："如果现象和本质都是一样的东西，就不需要科学了。"）我们视网膜上的传感器只能检测到红色、绿色和蓝色。这意味着，我们从来没有见过黄色、棕色、橙色和许多其他的颜色。这些颜色确实是存在的，但是我们的大脑只能够通过混合不同量的红、绿、蓝才能近似其中的每种颜色。（你如果非常仔细地看一个老的彩色电视屏幕，你就可以看到这一点。你只看到一组红、绿、蓝点。彩色电视实际上是一种错觉。）

我们的眼睛也在愚弄我们，以为我们可以看到深度。我们眼睛的视网膜是二维的，但是因为我们有两个相距几英寸的眼睛，所以左脑和右脑合并这两个图像给我们一个虚假的三维错觉。对于更远处的物体，通过观察当我们的头移动时它如何移动，可以判断它有多远。这就是所谓的视差。

（这个视差可以解释这样一个事实：孩子们有时会抱怨"月亮在跟着我走"。因为大脑难以理解像月球这样遥远物体的视差，因此仿佛月亮总是在他们"身体"后面的一个固定距离上，但它只是一种由大脑取捷径引起的现象。）

裂脑悖论

在奇特的裂脑患者的病例中，可以看到大脑的实际结构不同于一个公司的企业层次结构。大脑的一个不寻常的特点是，它有几乎相同的两半，或称半球，左半球和右半球。科学家们一直在想，为什么大脑要有这种不必要的两个半球呢，因为大脑即使去除一个半球仍可以运作。正常的企业层次结构没有这种奇怪的特征。此外，如果每个半球都有意识，这是否意味着在我们的头颅中有两个独立的意识中心呢？

加州理工学院的罗杰·沃尔科特·斯佩里（Roger W.Sperry）博士获得了1981年的诺贝尔奖，他显示大脑的两个半球是不准确的彼此的复制品，但实际执行不同的任务。这一结果在神经学中引起轰动（也催生了一个引起怀疑的自助书籍的作坊式行业，主张将左脑、右脑的二分法用到你的生活中）。

斯佩里是治疗癫痫的医生，这些癫痫病人患有由于两个半球之间的反馈回路偶尔失去控制引起的癫痫大发作。就像一个麦克风，由于一个反馈回路失控，它在我们耳边尖叫一样，这种发作可能会危及生命。斯佩里医生开始通过切断连接两个大脑半球的胼胝体，使它们不再沟通和共享身体左侧与右侧之间的信息。这通常停止反馈回路和癫痫发作。

首先，这些裂脑患者似乎完全正常。他们是敏捷的，可以进行自然

的对话，好像什么也没发生。但是仔细地分析这些人表明，这些人有一些地方是很不同的。

通常情况下，当思想在两个半球之间来回流动时，两个半球是相辅相成的。左脑偏重于分析和逻辑思维。发现左脑是具有语言技能的地方，而右脑更具有整体性和艺术性。但是左脑是占主导地位的，作出最后决定。命令从左脑通过胼胝体传到右脑。但如果连接被切断，这意味着右脑现在摆脱了左脑的控制。也许右脑可以有它自己的与占主导地位的左脑的愿望相矛盾的意志。

总之，在一个头颅内可能有两个意志在活动，有时候相互斗争以争夺对身体的控制权。这就产生了奇异的情况，左手（由右脑控制）好像是外星人的附属物一样，开始独立于你的愿望行动。

有一个病例记录，病例中的人想用一只手拥抱他的妻子，却发现自己的另一只手在做完全不同的事，它递了一个钩子到她的脸上。另一个女人说，她用一只手挑选一件衣服，却发现自己的另一只手抓住一件完全不同的衣服。还有一个人晚上睡觉时难以入眠，以为他的另一只反叛的手会掐死他。

有时，裂脑病人认为他们是生活在一个卡通世界里，一只手试图控制另一只手。医生有时称此为异手症（又称奇爱博士症），因为在这部《奇爱博士》电影的一个场景中，一只手对抗另一只手。

斯佩里医生在详细研究裂脑患者后得出结论，在一个单一的大脑中可能运行着两个不同的意识。他写道，每个半球“的确是代表这个半球的意识系统的，知觉、思维、记忆、推理、意愿、情感，在特征上全都在一个人的水平上，还有……左半球和右半球可能是同时有意识的，两种思维是不同的，甚至是相互冲突的，思维的体验是平行运行的”。

当我采访加利福尼亚大学圣芭芭拉分校的迈克尔·加扎尼加（Michael Gazzaniga）医生，一位裂脑患者研究的权威时，我问他，怎样做实验才能检验这一理论。他告诉我，有各种各样的办法与每个半球分别沟通而无须知道另一半球的情况。例如，戴上特殊的眼镜可以让每只眼睛分别看到提出的问题，就可以容易地针对每个半球提问。困难的是要从每个半球得到答案。因为右脑不能说话（语言中枢仅位于左脑），所以很难从右脑得到答案。加扎尼加医生告诉我，为找出右脑在思考什么，他创建了一个实验，在这个实验中采用拼字的办法可以让不会说话的右脑“说话”。

他开始询问病人的左脑，他毕业后想做什么。病人回答说他想成为一名绘图员。但当他问病人右脑同样的问题时，事情变得很有趣了。不会说话的右脑拼写出来的话是：“赛车手”。右脑不让占主导地位的左脑知道他对未来有一个完全不同的想法。右脑确实有它自己的想法。

丽塔·卡特写道：“这其中的可能含义是意识相互斗争。这暗示着在

我们的头颅里可能都有一个一言不发的俘虏，他有着与我们日常所相信的我们所具有的完全不同的人格、野心和自我意识。”

常常听到“在他的内部有人渴望得到自由”的说法也许是有道理的。这意味着大脑的两个半球甚至可能有不同的信仰。例如，神经学家V.S.拉玛钱德朗描述了一个裂脑患者，当问他是不是基督徒时，他说他是一个无神论者，但他的右脑宣称他是一个信徒。显然，有可能有两种对立的宗教信仰居住在同一个大脑中。拉玛钱德朗继续说：“如果这人死亡，会发生什么呢？难道一个半球去天堂而另一个去地狱吗？我不知道答案。”

（这是可以想象的，因此，一个有裂脑人格的人可能在同一时间既是共和党人也是民主党人。如果你问他，他会投票支持谁，他会给你他左脑的候选人，因为右脑不能说话。但你能想象在投票站里，当他只能用一只手拉动操作杆时所造成的混沌状态。）

谁负责？

有一个人花了相当长的时间，做了大量的研究，以理解潜意识问题，这个人就是戴维·伊格尔曼（David Eagleman）医生，位于休斯顿的贝勒医学院的神经学家。在我采访他时，我问他，如果我们的心理过程是潜意识的，那么为什么我们不知道这一重要事实呢？他给出了一个年轻国王的例子来解释：这个国王继承了王位，以诚信对待王国中的每一件事情，但对维持王位所需要的成千上万的职员、士兵和农民却一无所知。

我们对政客、婚姻伴侣、朋友和未来的职业选择，都受那些我们不知道的事情的影响。（例如，他说这是一个很奇怪的结果，“取名为丹妮丝［Denise］或丹尼斯［Dennis］的人很可能成为牙医［dentists］，取名为劳拉［Laura］或劳伦斯［Lawrence］的人更可能成为律师［lawyers］，而名为乔治［George］和乔治娜［Georgina］的人成为了地质学家［geologists］”。）这也意味着我们所认为的“现实”只是一个大脑填补空白的近似值。我们每个人看待现实的方式都会略有不同。比如，他指出：“至少人类女性的15%成员拥有基因突变，赋予她们一种额外（第四种）类型的色彩光感受器细胞，这使得她们能够辨别我们大多数只有三种色彩光感受器细胞的人看上去完全相同的颜色。”

显然，我们了解的思想力学越多，出现的问题也就更多。当心灵的指挥中心面对一个叛逆的影子指挥中心时，到底发生了什么？如果它可以一分为二，我们所说的“意识”到底是什么？而且意识与“自我”以及与“自我意识”之间的关系又是什么？

如果我们能回答这些问题，那么也许将为理解非人类的意识，如机器人和来自外层空间的外星人的意识铺平道路，例如，哪些可以与我们

完全不同。

因此，让我们现在对这个看似颇为复杂的“意识是什么”的问题提出一个明确的答案。

2　意识——物理学家的观点

人的思想是无所不能的……因为一切都在其中，包括过去的一切以及所有的未来。

——约瑟夫·康拉德（**Joseph Conrad**）

意识可以让即便是最严谨的思想家胡言乱语，张口结舌。

——科林·麦吉恩（**Colin McGinn**）

意识这个问题吸引了几个世纪的哲学家，但直至今日也没能找到一个简单的有关意识的定义。哲学家戴维·查默斯（David　Chalmers）所编目的关于这个主题的论文已有2万多篇；科学上没有任何一个领域有这么多的人做了这么多的工作，却得到这么少的共识。17世纪的思想家戈特弗里德·莱布尼茨（Gottfried　Leibniz）曾写道：“如果你能把大脑吹成一英里大并在里面行走，你不会找到意识在哪儿。”

一些哲学家怀疑是否有可能建立一种意识理论。他们声称，意识绝不可能得到解释，因为一个对象不能理解自己，所以我们没有能力解决这个复杂问题。哈佛大学心理学家史蒂文·平克写道：“我们不能看到紫外线。我们不能在精神上旋转一个在第四维度的对象。而且也许我们不能解决诸如自由意志和情感这样的难题。”

事实上，在20世纪的大部分时间里，心理学的一个主流理论：行为主义（behaviorism），完全否认意识的重要性。行为主义是基于这样一个想法，值得研究的只有动物和人的客观行为，而不是主观的心灵的内部状态。

其他人已经放弃了定义意识，试图尽量简单地描述它。精神病学家朱利奥·托诺尼（Giulio　Tononi）说：“每个人都知道什么是意识：它是你每天晚上当自己进入无梦睡眠时放弃的，在第二天早晨醒来时又返回来的东西。”

尽管有关意识的本质已经争论了几个世纪，却一直没有解决。鉴于物理学家已创造了许多发明使脑科学取得爆炸性进展成为可能，也许从物理学的观点重新审视这个古老的问题是有用的。

物理学家如何理解宇宙

当一个物理学家试图理解某件事时，他首先收集数据，然后提出一个“模型”，一个抓住他研究的物体的本质特征的简化模型。在物理学中，该模型是由一系列的参数（例如，温度、能量、时间）描述的。然后，物理学家使用这个模型来模拟其运动，预测其未来的演变。事实上，一些世界上最大的超级计算机用这些模型模拟质子、核爆炸、天气模式、宇宙大爆炸和黑洞中心的演变。然后你创建一个更好的模型，使用更复杂的参数更好地模拟它。

例如，当艾萨克·牛顿对月亮的运动困惑不解时，他创建了一个简单的模型，最终改变了人类历史的进程：他设想在空中扔一个苹果。他推断，你扔苹果时扔得越快，苹果就会跑得越远。如果你把它扔得足够快，事实上，它将会完全围绕地球转圈，甚至可能会回到原来的点。然后，牛顿声称，该模型代表月球的轨道，引导苹果绕地球运动的力与引导月球转动的力是相同的。

但模型本身还是没用的。关键的突破是，牛顿能够用他的新理论模拟未来，计算移动物体未来的位置。这是一个困难的问题，需要他创造一个新的数学分支，称为微积分。使用这种新的数学，牛顿不仅能够预测月球的轨迹，也能预测哈雷彗星和行星的轨迹。从那时起，科学家们用牛顿定律来模拟移动物体未来的路径，从炮弹、机械、汽车、火箭到小行星和彗星，甚至恒星和星系。

一个模型的成功或失败，取决于它是否能忠实地再现初始物体的基本参数。在这个例子中，基本的参数是苹果和月亮在空间和时间上的位置。通过允许此参数演变 （即，让时间前进），牛顿在历史上首次解开了运动物体的行为，这在科学中是最重要的发现之一。

在一个模型被一个有更好的参数描述的、更为精确的模型取代之前，这个模型是有用的。爱因斯坦取代了牛顿的作用在苹果和月亮上的力的模型，他的新模型是基于空间和时间曲率的新参数。苹果的运动不是因为地球施加在其上的力，而是由于空间-时间织构被地球所延伸，所以苹果只能沿着弯曲时空的表面运动。从此，爱因斯坦可以模拟整个宇宙的未来。现在，我们利用电脑可以运行这个模型去模拟未来，创造华丽的呈现黑洞碰撞的画面。

现在让我们把这种基本的思路加入到一个新的意识理论中。

意识的定义

为了定义意识，我从神经学和生物学领域以前描述的意识中取出一些看法如下：

意识是为了实现一个目标（例如，寻找配偶、食物、住所）创建一个世界模型的过程，在创建过程中要用到多个反馈回路和多个参数（例

如，温度、空间、时间和与他人的关系）。

我把这称为“意识的时空理论”（space-time theory of consciousness），因为它强调一个思想，即动物创建一个世界模型主要是靠它与空间的关系和它们彼此之间的关系，而人类走得更远，在创建一个世界模型时还要与时间相关联，既包括未来，也包括过去。

例如，意识水平最低的是0级，在0级意识中一个生物体是静止不动的或移动有限的，在创建其位置模型时所用反馈回路的参数仅有几个（如，温度）。比如，最简单的意识水平是一个恒温器。它会无须帮助地自动打开空调或加热器以调节室内温度。关键是一个反馈回路，如果温度太高或太低，开关会自动打开。（例如，金属受热膨胀，如果金属条的膨胀超过一个设定点，恒温器就会打开开关。）

每一个反馈回路标记为“意识的一个单位”，这样恒温器将有一个单一的0级意识单位，即，意识水平为0：1。

我们可以根据创造世界模型所用的反馈回路的数目和复杂性，以这种方式用数值表示意识的等级。这样一来，意识不再是不明确的、自圆其说的模糊概念，而是可以用数值排队的层次结构系统。例如，一个细菌或一朵花有更多的反馈回路，所以它们会有更高级别的0级意识。一朵花有10个反馈回路（温度、水分、阳光、重力等10个回路），它将有一个级别为0：10的意识。

可移动的、有中枢神经系统的生物体具有I级意识，它包括一组新的参数用来衡量它们的位置变化。爬行动物是I级意识的一个例子。它们有如此之多的反馈回路，以致它们开发了一个中枢神经系统来处理这些回路。爬行动物的大脑可能会有100个或更多的反馈回路（控制它们的嗅觉、平衡、触觉、声音、视觉、血压等，并且这些回路中的每一个又含有更多的反馈回路）。例如，仅视力就涉及大量的反馈回路，因为眼睛可以识别颜色、运动、形状、光的强度和阴影。同样，爬行动物的其他感官，如听觉和味觉，也需要额外的反馈回路。这些众多的反馈回路整体创建一幅该爬行动物位于世界何处的思想画面，还有和其他的动物（例如，猎物）相距多远的思想图像。而I级意识主要是由爬行动物大脑控制的，位于人体头部的背部和中心位置。

接下来，我们有II级意识，此时生物体创建的它们的位置模型就不仅仅是在空间中，而且还相对于其他个体（即，它们是有情感的社会性动物）。II级意识的反馈回路的数量呈指数式增长，因此，对这种类型的意识引进一个新的数值排名是有用的。建立同盟、发现敌人、异性交往，等等，都是非常复杂的行为，需要一个极大地扩大的大脑，所以II级意识的形成与新的边缘系统形式的大脑结构的形成是相吻合的。如前所述，边缘系统包括海马（司记忆）、杏仁核（司情绪）和丘脑（司感官的信息），所有这些都提供了为建立与其他个体的关系模型所需要的

新参数。因此，反馈回路的数量和类型都改变了。

我们将II级意识的程度定义为一个动物与其群体成员相互社交活动所要求的不同的反馈回路的总数。不幸的是，对动物意识的研究非常有限，已经完成的工作是如此之少，以致无法对动物的彼此交流的社会活动进行分类。但是作为粗略的近似，我们可以通过计算动物群体的数量，彼此感情交流的所有方式对II级意识做出估计。这将包括：识别对手和朋友，建立与其他个体的联系，表达爱慕，建立联盟，了解自己的地位和其他个体的社会等级，尊重上司的地位，对下级显示你的权力，在社会阶梯中图谋攀升，等等。（昆虫被排除在II级意识之外，因为它们虽然与它们的蜂巢或群体成员有社会关系，但就目前我们所知它们没有感情。）

尽管缺乏动物行为的实证研究，我们仍可以通过列举动物表现出来的不同情绪和社会行为的总数，给出一个II级意识的非常粗略的数值等级。例如，如果一个狼群由10只狼组成，每只狼和所有其他的狼有15种不同的情绪和手势，那么它的意识水平可粗略近似地由2或150的乘积给出，因此其意识等级为II：150。这个数字既考虑了所有它要接触的其他动物，也考虑了它与其他成员沟通的方式。这个数字仅仅是动物能够显示的社会交互联系的总数的近似，随着我们对它的行为了解更多，这个数字将无疑地会改变。

（当然，因为我们对进化的了解不是十分清楚和精确的，所以不得不对诸如独自猎食的社会性动物的意识水平做出解释。我们将在注释中这样做。）[2]

III级意识：模拟未来

用这个意识框架，我们看到人类不是独一无二的，并且意识有着连续性。查尔斯·达尔文曾经评论说："人和高等动物的区别尽管很大，但肯定的是这是程度上的差别，而不是种类的差别。"但是，是什么将人类意识和动物意识区分开的呢？人类能理解明天这个概念在动物王国中是独一无二的。与动物不同，我们在不断地问自己"如果？"几个星期、几个月甚至未来的几年会怎样？所以，我相信III级意识创建一个它在世界上的位置的模型，然后做出粗略的预测，并用这个模型模拟未来。我们可以概括如下：

人类意识是意识的一种特殊形式，它创建一个世界模型，然后不断地进行模拟，通过评估过去模拟未来。这就要求调节和评估很多反馈回路，为实现一个目标做出决定。

到了III级意识，反馈回路是如此之多，为了模拟未来和最后做出决

定需要一个首席执行官筛选它们。因此，我们的大脑也不同于其他的动物，尤其是位于前额后面扩大后的前额叶皮层，它让我们“看到”未来。

哈佛大学的心理学家丹尼尔·吉尔伯特（Daniel Gilbert）博士写道：“人类大脑的最大成就是它能想象在现实领域中不存在的物体和事件，而这种能力让我们能够思考未来。正如一个哲学家指出的，人类的大脑是一个‘期待机器’，而‘创造未来’是它所做的最重要的事情。”

使用大脑扫描，我们甚至可以确定大脑中模拟未来的准确地点。神经学家迈克尔·加扎尼加指出：“人类的外侧前额叶皮层的10区（内部颗粒层IV）比猿几乎大两倍。10区参与记忆和计划吗？是认知和抽象思维的地方吗？是引发适当的行为和抑制不适当行为的区域吗？是制定学习规则，并从感官察觉提取相关信息的地方吗？”（在本书中，这个集中决策的区域指的是背外侧前额叶皮层，虽然有一些与大脑的其他区域重叠。）

虽然动物也可能明确地知道它们在空间中的位置，有一些动物在一定程度上还了解其他动物，但不清楚它们是否有能力、有计划地设计未来和理解“明天”。大多数动物，甚至具有发达边缘系统的社会性动物，对环境的反应（例如，存在掠食者或潜在的配偶）主要依靠本能，而不是系统地规划未来。

例如，哺乳动物不是靠着准备冬眠为过冬做出安排，而是在很大程度上遵循本能。当温度下降时有一个反馈回路调节它们的冬眠。它们的意识是由来自它们的感官的消息支配的。没有证据表明它们通过系统地筛选各种计划和方案为过冬做准备。掠食者，当它们使用狡猾的办法和伪装捕获毫无戒心的猎物时，也预测未来的事件，但这个计划是仅限于本能和狩猎这段时间。灵长类动物善于制定短期计划（例如，寻找食物），但没有迹象表明它们的计划会超过几个小时。

人类是不同的。虽然我们在许多情况下确实依靠本能和情感，但我们还不断地分析与评估反馈信息。我们通过模拟进行分析和评估，有时甚至预测超出我们自己的寿命，甚至几千年以后的事情。运行模拟的重点是评估各种可能性，为实现目标做出最佳决策。这发生在前额叶皮层，它允许我们模拟未来和评估各种可能性，以制定最佳的行动路线。

这种能力因为几个原因在进化。

第一，有能力洞察未来在进化中有着巨大的好处，比如躲避掠食者和寻找食物与配偶。

第二，它允许我们在几个不同的结局中选择最好的一个。

第三，当意识从0级到I级再到II级，反馈回路的数量呈指数增长，我们需要一个“首席执行官”来评价所有这些相互冲突、竞争的信息。仅靠本能是不够的。必须有一个中枢机构评估这些反馈回路。这是人类区

别于动物所具有的杰出意识。对这些反馈回路进行评估，反过来，通过模拟未来取得最好的结果。如果我们没有首席执行官，就会发生混乱，我们的感觉就会超负荷。

通过一个简单的实验可以证明这一点。戴维·伊格尔曼描述说：他拿了一条雄性棘鱼，又拿了一条雌性棘鱼放到它的领地内。于是这条雄鱼困惑了，因为它想与雌鱼交配，但又要捍卫其领地。其结果是，这条雄性棘鱼会在求爱的同时攻击雌鱼。雄鱼发疯了，它试图吸引雌鱼并同时杀死雌鱼。

这种情形也发生在老鼠身上。把一个电极放在一块奶酪前。如果老鼠太靠近，电极会电击它。一个反馈回路告诉老鼠去吃奶酪，但另一个回路告诉老鼠保持距离，避免被电击。通过调整电极的位置，你可以让这个老鼠犹豫不决，让它在两个相互矛盾的反馈回路之间徘徊。而人类的大脑中有一个首席执行官能评估形势的利弊，而老鼠则由两个相互冲突的反馈回路控制，来来回回地跑动。（这就好比关于驴的谚语：它饥饿而死是因为它位于两个同样大小的干草包之间。）

大脑究竟是如何模拟未来的？人类的大脑充满了大量的感官数据和情感数据。但关键是要通过事件之间的因果关系模拟未来，也就是说，如果A发生，那么B发生。但如果B发生，那么结果可能是C和D。这一事件引发连锁反应，最终形成一个有许多分支的各种可能的未来的树。在前额叶皮层的首席执行官评估这些因果树的结果，以做出最终的决定。

比如说你想去抢银行。你能就这一事件做出多少真实的模拟呢？要做到这一点，你必须考虑各种有关的因果联系：警察、旁观者、报警系统、与其他罪犯的关系、交通条件、直接攻击的办公室，等等。要成功构思抢劫，必须评估数百种因果联系。

也可以用数值方法测量这种意识水平。比如说给一个人一系列不同的情况，像上面提到的那样，要他模拟每一种情况的未来。可以把所有这些情况的因果关系列出表格。（一种复杂性在于，在一个人面临多种可能的情况下可能会有无限数量的因果联系。为了绕过这个复杂性，我们把这个数字除以从一大群控制组获得的因果联系的平均数。就像智商考试，你可以将这个数字乘以100。例如，一个人的意识水平，可能是III：100，这意味着这个人具有像一般人一样模拟未来事件的能力。）

我们把这些意识水平总结在下面的表1中：

表1 不同物种的意识水平

级别	物种	参数	大脑结构
0	植物	温度、阳光	没有
I	爬行动物	空间	脑干
II	哺乳动物	社会关系	边缘系统
III	人类	时间（尤其是未来）	前额叶皮层

意识的时空理论。我们将意识定义为：为了实现一个目标而创建一个世界模型的过程，在此过程中要使用各种参数和多个反馈回路（例如，空间、时间和与其他个体的关系）。人类意识是一种特殊类型，包括通过评估过去和模拟未来以调解这些反馈回路。

（请注意，这些类别对应于我们在自然界发现的粗略的进化水平，即爬行动物、哺乳动物和人类。然而，也有一些灰色地带，如动物可能具有细小方面的意识层次的差别，有些动物能做一些基本的规划，甚至单细胞动物也能互相沟通。这个图表只是为了给你一个大范围的、全局的图像，以此说明在动物王国里意识是如何组织的。）

什么是幽默感？我们为什么会有情感？

所有的理论必须被证明是对的才能成立。意识的时空理论是否能成立，要看能否在这个框架中解释人类意识的各个方面。如果有的思想模式不能包括在这个理论当中，它就可能是虚假的。一些批评家可能会说，我们的幽默感肯定是太抽象了、太短暂了，无法用这个理论解释。我们经常会与朋友们聚会一起谈笑风生，看喜剧演员表演时大笑不止，然而幽默似乎与我们模拟未来无关。但这个理论想到了这一点。很多幽默，比如讲一个笑话，是取决于其中的妙语的。

当我们听一个笑话时，我们会情不自禁地模拟未来，我们会自己设想将是什么结果（即使我们不知道我们在这样做）。我们对自然和社会足够了解，我们可以预见结局，最终，当这个妙语连珠的笑话给了我们一个完全意外的结局时，我们会放声大笑。幽默的本质在于当我们模拟未来时，这个笑话却以令人惊讶的方式突然中断了。（在历史上这对于我们的进化是重要的，因为成功在某种程度上取决于我们模拟未来事件的能力。因为在丛林中，生活充满了无法预料的事件，谁能预见意想不到的结果就有更好的生存机会。在这个意义上，具有良好的幽默感其实是一个表明我们有III级意识和智慧的迹象；即是模拟未来的能力。）

例如，威廉·克劳德·菲尔茨（W.C.Fields）曾问一个有关青年社会活动的问题。他问道：“你相信年轻人的俱乐部吗？（you believe in clubs for youth people？）”他回答却说：“只有当劝说不行时。”（you believe in clubs for youth people？句中**club** 有俱乐部之意，也有棍子之意，说笑话时，听众以为是说俱乐部，而说笑话的人则指当年轻人不

听话时要用棍子解决问题，回答出人意料因而可笑。——译者注）

这个笑话之所以可笑是因为其中有一句妙语，当我们思想上模拟的是一个年轻人的社交俱乐部时，W.C.菲尔茨说的却是要用棍子教育不听话的年轻人。（当然，如果一个笑话被解构了，它就失去它的力量了，因为在我们的脑海中我们已经想到了各种结果。）

这也解释了每个喜剧演员都知道的诀窍：把握时间是幽默的关键。如果妙语给出太快，那么大脑还没有时间想到结果，所以就没有未预料到的感觉。如果妙语给出太迟，大脑已经有时间想到各种可能的结果，这句妙语就失去了惊喜的元素。

（当然，幽默还具有其他功能，如与我们部落的成员搞好团结。事实上，我们可用幽默感作为一种方法抓住其他人的特点。反过来，这对决定我们在社会中的地位是重要的。因此，笑还可以帮助我们确定我们在社会中的位置，即这是II级意识。）

为什么我们闲聊和玩耍？

即使看起来微不足道的活动，比如朋友之间的闲聊或玩耍也必须在这个框架内能够得到解释。（如果一个火星人拜访我们的超市收银台，看到大量的闲聊杂志［gossip magazines，即八卦杂志］，可能会得出这样的结论：闲聊是人类的主要活动。这一观察可以说是八九不离十。）

说长道短是生存必不可少的，因为错综复杂的社会互动是不断变化的，所以我们必须了解这个不断变化的社会情况。这是II级意识在工作。但是一旦我们听到闲话，我们就会立即思索，确定这将如何影响我们自己在社会上的地位，我们的意识就升至III级。事实上，几千年前，闲聊（或闲话）是获得关于部落的重要信息的唯一方式。一个人的生活常常取决于从闲聊中知道的最新情况。

“玩”好像是多余的，但它也是意识的一个基本特征。如果你问孩子们，他们为什么喜欢玩，他们会说：“因为它很有乐趣。”但这又引起下一个问题：什么是乐趣？实际上，当孩子们玩耍的时候，他们往往试图以简化的形式再次模仿复杂的人类相互作用。人类社会是极其复杂的，对发育中的儿童大脑来说是太复杂了，因此孩子们在玩游戏中简化模拟成人社会，如医生、警察、强盗和学校等。

每一个游戏都是一个模型，让儿童部分地体验成人行为和模拟未来。（同样，当成年人玩耍的时候，如打扑克，大脑会不断地创建一个模型，猜想别人手里有什么牌，然后利用以前的有关每个人的个性数据和虚张声势的能力等，用这个模型推测未来。游戏，如下棋、打牌和赌博等的关键是预测未来的能力。动物，主要生活在当前，不像人类那样擅长游戏，特别是它们不能预测未来。未成年的哺乳动物也确实会某种

形式的玩耍，但这更多的是一种彼此测试练习和演练争斗的运动，以及建立未来的群居秩序而不是模拟未来。）

我的“意识的时空理论”也可以解释另一个有争议的话题：智力。虽然智商（IQ）考试声称可测量“智力”，但智商考试实际上没有从根本上给出智力的定义。事实上，有些人可能会看似有理地说，智商是“你在智商测试中做得如何”的衡量，但这只是一种自圆其说的说法。此外，已有人批评用智商考试测试智力并不是十分恰当的。但在我的这个新的框架里，智力可以被看作是我们模拟未来的复杂性。因此，一个手段高明的罪犯可能是退学学生和文盲，在智商考试中得分很低，但其能力有可能远远超过警察，他能够更完善地模拟未来以智取胜。

I级意识：意识流

在这个地球上唯一能够操作各级意识的是人类。通过磁共振成像扫描，我们可以区分参与每一级意识水平的大脑的各个部分。

对我们来说，I级意识流主要是前额叶皮层和丘脑之间的相互作用。当在公园里悠闲地漫步时，我们闻到植物的气味，感觉到微风，受到来自太阳的视觉刺激，等等。我们的感官信号发送到脊髓、脑干，然后传递到丘脑，丘脑像一个中继站，整理这些刺激并传送到大脑的不同皮层。例如，公园的图像发送到位于大脑后面的枕叶皮层，而来自风的触摸感发送到大脑的顶叶。这些信号在适当的皮层处理，然后发送到前额叶皮层，在此处我们终于意识到所有这些感觉。如图7所示。

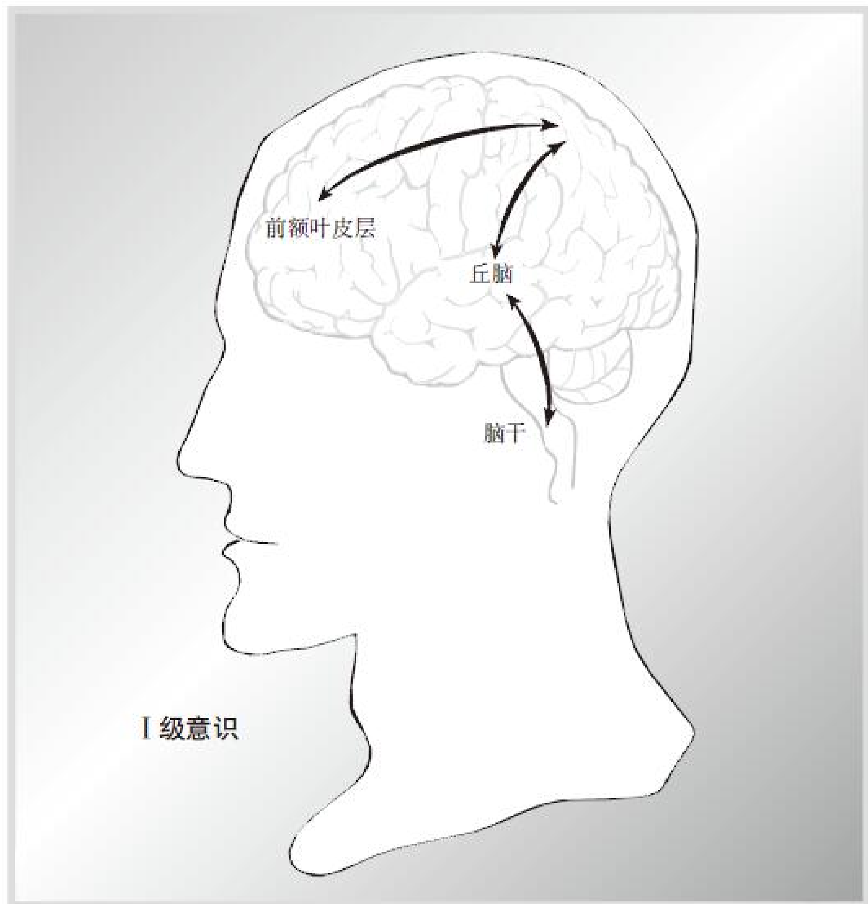


图7　I级意识，感官信息经过脑干，通过丘脑，进入大脑的不同皮层，最后到达前额叶皮层。因此，I级意识流是由信息从丘脑流到前额叶皮层后产生的。

II级意识：发现我们的社会地位

I级意识使用感觉建立我们在空间中的物理位置的模型，II级意识则建立我们在社会中的地位的一个模型。

比如说我们要参加一个重要的鸡尾酒会，与我们工作有关的很重要的人将出席这个鸡尾酒会。当我们环视房间试图找出来自我们工作场所的人时，在我们的海马（处理记忆）、杏仁核（处理情绪）和前额叶皮层（汇集所有这些信息）之间有强烈的相互作用。

有了每个图像，大脑自动附加一种情绪，如快乐、恐惧、愤怒或嫉妒，并在杏仁核处理这些情绪。

如果你发现一个你怀疑是与你为敌的主要竞争对手，杏仁核即刻处

理你的恐惧情绪，发送紧急信息到前额叶皮层，提示它可能有危险。同时，信号被发送到你的内分泌系统，开始将肾上腺素等激素打进血液，从而提高你的心跳，并让你做好准备战斗或做出逃跑反应。如图8所示。

但是，大脑不仅仅是简单地认识其他人，大脑还有不可思议的猜测别人想什么的能力。这就是所谓的“心理理论”（Theory of Mind，或“心灵理论”），由宾夕法尼亚大学的戴维·普雷马克（David Premack）博士首先提出的一个理论，这是推断别人的想法的能力。在任何复杂的社会，有能力正确猜测他人的意图、动机和计划的人，比没有这种能力的人有更大的生存优势。心理理论可以让你结成联盟，孤立敌人，巩固友谊，这将大大增加你的力量和生存与交配的机会。一些人类学家甚至认为，掌握心理理论在大脑的进化中是必须的。

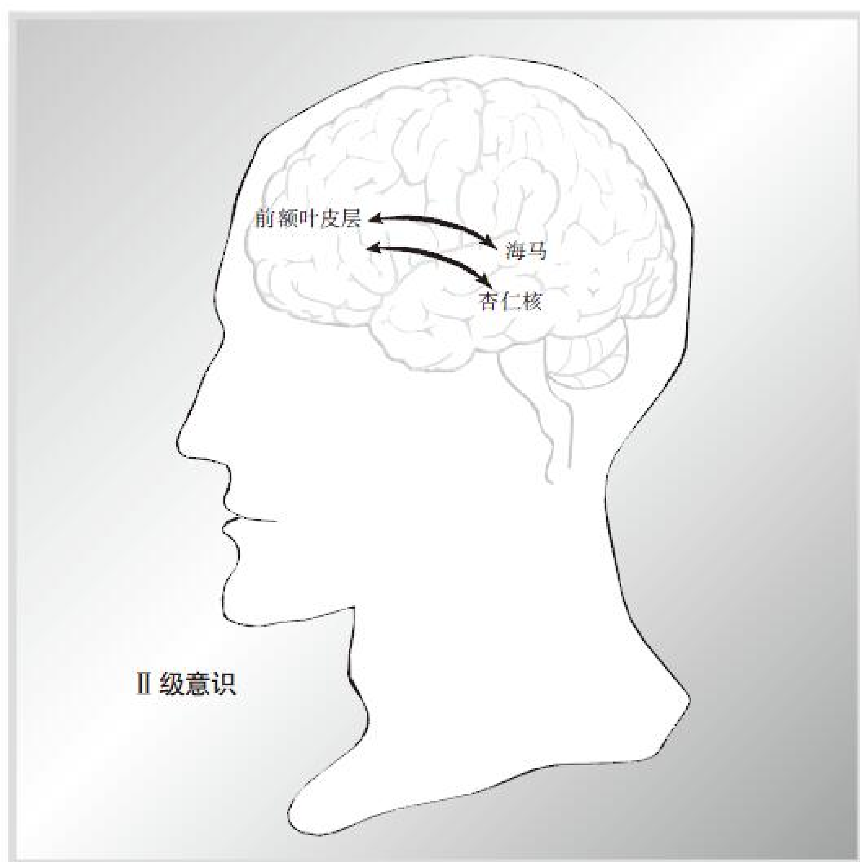


图8　情感起源于边缘系统并在边缘系统处理。在II级意识中，我们不断地被感官信息轰击，但情绪是对来自边缘系统的突发事件的快速响应，不需要来自前额叶皮层的允许。海马对处理记忆也很重要。所以，II级意识的核心包括杏仁核、海马和前额叶皮层的反应。

但是，心理理论是如何实现的呢？一条线索是在1996年发现的，在这一年，贾科莫·里左拉蒂（Giacomo Rizzolatti）、列昂纳多·福加西（Leonardo Fogassi）和维托里奥·加莱塞（Vittorio Gallese)博士发现“镜像神经元”。这些神经元在你执行特定的任务，并且看到其他人也做同样的事情时被激活。（镜像神经元也因情绪以及身体的行动而激活。如果你有某种情感，并认为另一个人也有相同的情感时，那么镜像神经元就会被激活。）

镜像神经元对于模仿和同情是必不可少的，它使我们不仅能够复制由别人执行的复杂任务，也能体验那个人感受的情感。因此，作为人类镜像神经元对我们的进化可能是必不可少的，因为团结和合作对于部落是很重要的。

镜像神经元首先是在猴子大脑的前运动区发现的。后来，在人类的前额叶皮层也发现了镜像神经元。V.S.拉玛钱德朗（V.S. Ramachandran）医生认为，镜像神经元在赋予我们自我意识能力上是必需的，并得出结论说：“我预测，镜像神经元对于心理学的重要性就像DNA在生物学的重要性一样：它们将提供一个统一的框架，帮助解释许多迄今仍然是神秘和难以实验研究的心理能力。”（然而，我们应该指出，所有的科学结果必须检验和得到确认。毫无疑问的是，某些神经元参与同情、模仿等关键行为，但是关于这些镜像神经元的身份尚有争论。例如，一些批评家认为，也许这些行为对许多神经元是共同的，并没有一个单一类型的神经元致力于这种行为。）

III级意识：模拟未来

最高级别的意识水平主要是人类才有的III级意识。在这个意识级别上我们建立世界模型，然后模拟未来。我们通过分析对人和事件的过去的记忆来模拟未来，通过建立许多因果联系形成“因果”树。当我们在鸡尾酒会上看到各种面孔时，我们开始问自己一些问题：这个人会帮我吗？弥漫在房间里的流言蜚语会怎样结束？有人会和我过不去吗？

比如说，你刚刚失去工作，正拼命地找一份新的工作。在这种情形下，当你在鸡尾酒会上跟各种各样的人讲话时，你的头脑还不断地想着找工作的问题。你问自己，我怎么能给这个人深刻印象呢？我要谈些什么话题才能展现我最好的一面呢？他能给我一份工作吗？

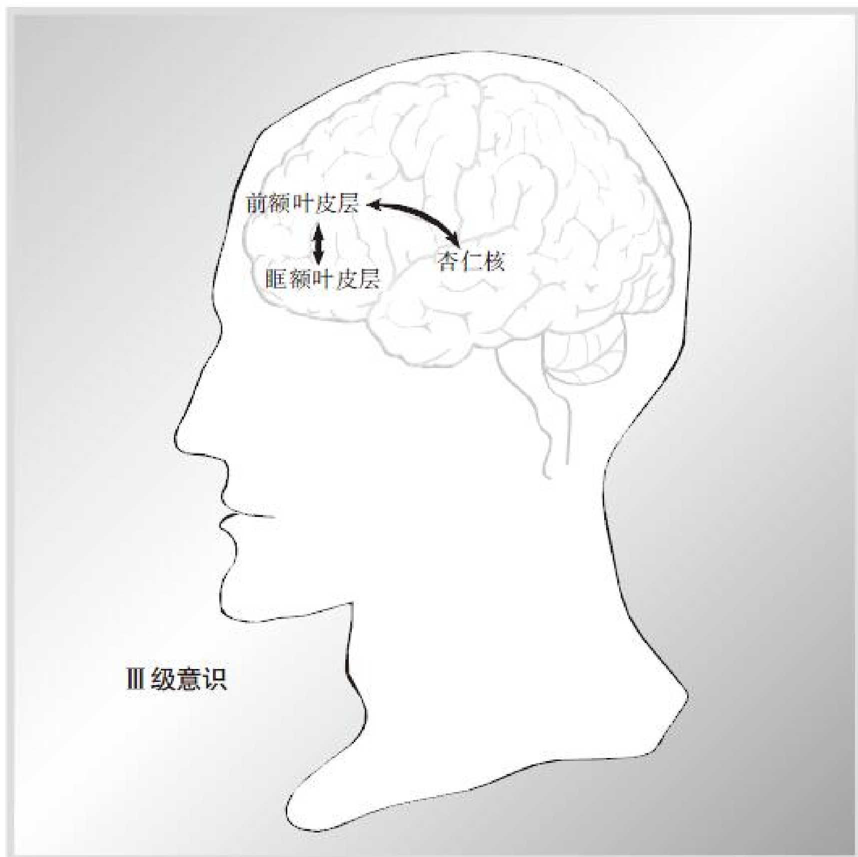


图9　模拟未来，III级意识的核心，是由作为大脑的首席执行官的背外侧前额叶皮层，通过快感中枢与可以检测我们冲动的眶额叶皮层之间的竞争调节的。这大致类似于弗洛伊德概述的我们的良心和欲望之间的斗争。当前额叶皮层提取过去的记忆以模拟未来的事件时，模拟未来的实际过程就发生了。

最近的脑扫描部分地揭开了大脑是如何模拟未来的。这些模拟主要发生在背外侧前额叶皮层，由这个大脑的首席执行官利用过去的记忆完成模拟。一方面，模拟未来可能产生可取的、愉快的结果。在这种情况下，大脑的快感中枢亮起来（在伏隔核和下丘脑）。另一方面，这些结果可能是负面的，所以眶额叶皮层开始警告我们有危险。这是关注未来的大脑不同区域之间的斗争，其中可能有可取的和不受欢迎的结果。最终是背外侧前额叶皮层在这些斗争之间进行调节和做出最后决定。如图9所示。（有些神经病学家指出，这场斗争，粗略地好似弗洛伊德的自我和超自我之间的斗争。）

自我意识的秘密

如果“意识的时空理论”是正确的，那么它也给我们带来了自我意识的一个严格的定义。我们应该能够给出一个不是模糊的、自圆其说的定

义，而是可测试的和有用的定义。我们将自我意识定义如下：

自我意识是创建一个世界模型和模拟你在未来的显现。

因此，动物有某些自我意识，因为如果它们要生存和交配的话就必须知道它们的位置，但这种自我意识是有限的，主要是由本能产生的。

当大多数动物位于镜子面前时，它们要么忽视它，要么攻击它，却没有意识到它是自己的形象。（这就是所谓的“镜子测试”，可以一直追溯到达尔文。）然而，动物中如大象、大猩猩、宽吻海豚、逆戟鲸和欧洲喜鹊，可以辨认它们在镜子中看到的形象是它们自己。

然而，人类向前迈进了一大步，不断模拟未来，设想在未来我们将如何生活。我们常常想象自己面对不同的情况——去约会，找工作，改变职业，这些都不是本能确定的。要停止你的大脑模拟未来是非常困难的，尽管已经提出复杂的方法（例如，冥想）尝试这样做。

作为一个例子，做白日梦是我们梦想要实现一个不可能达到的目标。因为我们知道我们的优势和局限，因此不难把我们自己放在模型中和点击“播放”按钮，让我们开始扮演假设的情景，就像在一个虚拟的表演中作一个演员一样。

“我”在哪里？

大脑有可能有一个特殊的部分，其工作是统一从两个半球传来的信号以创建一个完整一致的自我。托德·黑勒顿（Todd Heatherton）博士，达特茅斯学院的心理学家，认为这个区域位于前额叶皮层内，在一个叫做内侧前额叶皮层的地方。生物学家卡尔·齐默（Carl Zimmer）博士写道：“内侧前额叶皮层在自我中所起的作用有可能像海马在记忆中所起的作用一样。……它可以不断地将我们是谁的感觉拼接在一起。”换句话说，这可能是“我”这个概念的出入口。大脑的中心区域融合、集成，并整理出一个统一的我们是谁的描述。（然而，这并不意味着在内侧前额叶皮层中坐着一个在我们的大脑中控制一切的矮人。）

如果意识的时空理论是正确的，那么休息的大脑，例如当我们懒洋洋地做白日梦的时候，要比平时更活跃，即便大脑的感觉区域的其他部分是安静的。事实上，大脑扫描证实了这一点。黑勒顿博士总结说：“大多数时候我们做白日梦——我们回想我们已发生的事情或是我们回想其他人已发生的事情。所有这些都与自我反省有关。”

意识的时空理论认为，意识是来自大脑的许多亚单元拼凑起来的，每个单元与其他单元竞争产生一个世界模型，然而我们的意识感觉却是流畅的和连续的。怎么会是这样呢？我们平时都感到我们的“自我”是完

整的，并且一直在负责呀！

在第1章中，我们遇到了裂脑患者的困境，他们有时要与有着自己思想的外星人的手作斗争。在同一个活着的大脑中好像确实存在两个意识中心。所有这一切是怎么产生的呢？在我们的大脑中存在一个统一的感觉，一个一致的“自我”呀！

我问了一位也许能回答这个问题的人：迈克尔·加扎尼加医生，他花了几十年研究裂脑患者的奇怪行为。他注意到裂脑患者的左大脑，当面对同一个头颅中有两个独立的意识中心这一事实时，它只会做出很奇怪的解释，无论这个解释多么愚蠢。他告诉我，当有一个明显的矛盾时，左大脑会给出一个答案来解释尴尬的事实。加扎尼加医生认为，这给了一个我们是统一和整体的虚假的感觉。他称左脑为“解释器”，它不断解释和掩盖我们意识的不一致和分歧。

例如，在一项实验中，他把“红”这个字只闪现给一个病人的左大脑，把“香蕉”这个字只闪现给右大脑。（注意，占主导地位的左脑根本不知道有香蕉。）然后要求测试者用左手拿起一支钢笔（这是由右脑控制的）画出他看到的。很自然地他画了一个香蕉。记住，右脑可以做到这一点，因为它看到了香蕉，但左脑不知道香蕉曾出现在右脑前。

然后，他问病人为什么画了一个香蕉。因为只有左脑控制语言，而且因为左脑对香蕉一无所知，所以病人应该说：“我不知道。”然而相反，病人回答说：“用这只手画是最容易的，因为这只手容易放下来。”加扎尼加医生指出，左脑试图为这个令人为难的事实找一些借口，即使病人对为什么他的右手画香蕉一无所知。

加扎尼加医生总结道：“是大脑左半球试图在混沌中找出秩序，试图把每一件事编成一个故事，并把它变成一个上下一致的完整的东西。看来，它被驱动去推测关于世界的结构，即使事实证明还没有模式存在。”

一个统一的“自我”感觉就是来源于此。尽管意识是错落有致的竞争，往往有矛盾的倾向，但左脑忽略不一致和掩盖明显的差距，给我们一个完整单一的“我”的感觉。换句话说，左脑经常找借口，有些甚至是愚蠢的和荒谬的，为使世界变得有意义。它不断地问“为什么？”并编造出借口，即便该问题没有答案。

（有可能有一个进化的原因，产生了我们分裂的大脑。一个经验丰富的首席执行官往往会鼓励他的助手接受一个问题的反面，鼓励全面周到的辩论。通常情况下，正确的观点与不正确的想法强烈地相互作用。同样，大脑的两个半球相互补充，提供同一思想的悲观和乐观或者分解和整体的分析。因此大脑的两个半球彼此补充。事实上，正如我们将看到的，当大脑两个半球的这种相互关系出错时，就会出现某些类型的精神疾病。）

现在我们有了一个可以成立的意识理论，我们可以用它来了解神经

科学在未来会怎样演变了。目前在神经科学中做着一个巨大的、引人注目的实验，从根本上改变了整个科学的景观。科学家利用电磁的能力现在可以探测人的思想，发送心灵感应的信息，用心灵感应控制我们周围的物体，记录记忆，或许还能增强我们的智力。

心灵感应（telepathy）也许是最直接、最实用的新技术，它曾一度被认为是绝对不可能的。

第二部分　心胜于物

BOOK II

MIND OVER MATTER

3　心灵感应：思维之海中的沧海一粟

无论你承认与否，大脑好比一台机器。科学家们得出这样的结论并不是因为他们是一帮泼你冷水的机械论者，而是因为他们已经积累了足够证明意识的方方面面都与大脑有着紧密联系的证据。

——史蒂文·平克（**Steven Pinker**）

部分历史学家认为哈里·胡迪尼（Harry　Houdini）是史上最伟大的魔术师。他从密封紧锁的密室里逃生的精彩表演至今还让人为之惊叹，他那玩命魔术紧紧抓住了观众的心。他能让人突然消失，又在你绝对意想不到的地方突然出现。并且他还会读心术。

甚或，给人一种他会读心术的感觉。

胡迪尼费尽心思地向人们解释，自己的魔术表演均为视觉假象，只不过是骗人的花招罢了。至于读心术，他会提醒人们，更是无稽之谈。对于那些不讲职业道德的魔术师通过表演低端的骗术和通灵术来欺骗赞助人的作法，他无比愤怒，因此他每到一个地方进行表演都会揭露那些江湖艺人的种种骗术，并声言自己可以表演那些江湖艺人所表演过的任何“读心术”把戏。他甚至加入了《科学美国人》组织的一个委员会，该委员会旨在向任何能证明自己具有超自然能力者提供丰厚奖赏（当然，至今还没有人得到过这一奖项）。

胡迪尼认为，心灵感应是不存在的。但科学却证明胡迪尼是错误的。

如今，心灵感应已成为全球众多大学研究的重要课题，专门从事这项研究的科学家们目前已经能够利用精密传感器解读人类大脑中的独特文字、图像和思维。这一成果或许能够改变我们同中风病人、“锁定”自己身体且无法表达自己想法的事故受害人除了通过眨眼之外的沟通方式。心灵感应或许能急剧改变我们同计算机及外部世界交互沟通的方式。

事实上，在最近的“未来五年的五项预测”，即用来预测未来五年中可能发生的五项革命性发展项目中，IBM公司的科学家们声称，人们将能够与计算机进行心灵交流，或许在不久的将来就会取代鼠标和语音命令。这便意味着用意念的力量可以命令电话给他人拨号、缴纳信用卡账单、驾驶汽车、约会、创作优美的交响乐及艺术品等等。心灵感应技术可以带来无限机遇，从计算机巨头、教育家、电子游戏开发公司、音乐录音室到五角大楼（美国国防部），似乎每个人都会向着这一技术靠拢。

在没有外来辅助的干预下，科幻小说和奇幻小说中出现的心灵感应是无法实现的。众所周知，大脑是电性的。泛泛来说，在任何时刻当一个电子突然加速，它便会释放电磁辐射波。当电子在大脑中振动时，同样会释放无线电波。但是这些信号太过微弱，难以探测到，即使我们能察觉到这些无线电波的存在，我们也很难将其弄清楚。进化演变没有给我们解码这种毫无规律的无线电信号的能力，但计算机却可以。科学家们利用脑电图（EEG）扫描得到了人类思维的原始近似值。实验对象需头戴一个装有脑电图传感器的头盔，并集中注意力观察特定图片，如汽车的图片。每张图片的脑电图信号便被记录下来了，最终可得出一部与人的思维和脑电图一一对应的思维初级字典。当实验对象看到另一幅汽车图片时，计算机能识别出该脑电图模式源自这幅汽车的图片。

脑电图传感器的优点在于它们不具有侵害性，且十分快捷。你所要做的就是将装有许多电极的头盔戴在头上，剩下的就交给脑电图传感器处理，脑电图传感器能迅速识别每一毫秒都在变化的信号。然而，脑电图传感器存在的问题是，正如我们所发现的，电磁波经过头颅骨时会逐渐减弱，因而要想找出电磁波源自何处绝非易事。这一方法能够辨别出你所想的到底是一辆汽车还是一栋房子，但它不能重塑该车的形象。这便是杰克·加兰特（Jack Gallant）博士研究的重点。

心灵的视频

加州大学伯克利分校是研究心灵的中心，多年前我曾在那儿取得了理论物理学博士学位。我喜欢参观加兰特（Gallant）博士的实验室，近来他的团队完成了一项一度被视为不可能的项目，即录制人的思想。加兰特博士说：“这是重塑内部表象的重要一步。我们为研究人类的思维活动开启了一扇窗户。”

参观加兰特博士的实验室时，映入我眼帘的第一幕便是他的科研团队是一群跃跃欲试的年轻博士后和研究生，他们簇拥在电脑屏幕前，专注地看着根据某个实验对象大脑扫描后重塑的视觉影像。和加兰特博士的团队交谈，你会有一种见证创造科学史的感觉。

加兰特向我解释道，实验的第一步就是让实验对象头朝内地平躺在担架上，然后慢慢地将其推进一个巨大的、最先进的磁共振成像机内，这种机器价值300万美元。然后让实验对象看几张视频片段　(正如优管［YouTube］网站上的电影预告片那样)。为了收集足够的数据，实验对象必须一动不动地持续平躺数个小时，观看这些影像片段。毫无疑问，这是一项费力的活儿。我对其中一位名叫西本真治（Shinji Nishimoto）的博士后这样问道：“你们是怎么找到愿意一动不动地躺几个小时，只为看几张影像片段的实验对象的。”他说，在这间屋子里工作的研究生、博士后都愿意为自己的实验当“小白鼠”。

当实验对象观看影像片段时，磁共振成像机会制作一份大脑血流的

3D图像。这份磁共振成像图像看上去像是30 000个点或立体像素的集合。每个立体像素代表一个神经能量的具体位置，而每个点的颜色则对应信号的集中程度和血流速度。红色点代表神经活动较多的区域，蓝色点代表神经活动较少的区域。（最终得出的图像就像千万盏圣诞彩灯组成的大脑形状。在观看这些影像过程中，你很快就会发现大脑将其大部分的心智能量集中在位于大脑后部的视觉皮层上。）

加兰特的磁共振成像机十分强大，它能识别200～300个距离相差较远的大脑区域，平均来看，它能快速拍下每个拥有100个点的大脑区域。(未来的磁共振成像技术的目标是通过提高大脑每个区域的点，提供更为敏捷的解决方法。）

首先，这种彩色点的3D集合看起来像是令人费解的乱码。但经过多年的研究，加兰特博士和他的同事们研发出了一种数学方程式，这种方程式可用来发现一幅图的特定特征（边界、质地、密度等）和核磁共振成像立体像素之间的关系。例如，当你盯着某一边界看时，你会发现该边界是区分浅色区和深色区的分界线，如此，该边界便产生一种立体像素模式。当实验对象看完如此巨大的影像片段后，这种数学方程式便被定义了，由此计算机便开始分析所有图片是怎样转化成核磁共振成像立体像素的。科学家们也能够确定立体像素的特定核磁共振成像模式和每张图像之间存在的直接关联。

至此，实验对象将看到另一段影像。计算机对实验对象观看这段影像时产生的立体像素进行分析，并重塑初始图片的大致近似值。（计算机从100张最接近实验对象所看到的图片中选出几张，然后将这几张合并，创造出最接近初始图片的近似值。）照此方式，计算机便能够创造出停留在你心灵中的视觉表象的模糊影像了。加兰特博士的数学方程式十分灵活多用，它能收集核磁共振成像立体像素，并将其转化为图像，或者反过来，将图像转为立体像素。

我曾有幸观看加兰特博士团队制作的影像，给我留下十分深刻的印象。看他们的影像有如戴着墨镜看一部有面孔、动物、街景和建筑的电影。尽管我无法看清每张面孔和每种动物的细节，但我可以清楚地识别出自己所看到的是什么。

该项目不仅可以解码你所看到的事物，它还能解码萦绕在你脑海中的虚构的图像。比方说你是实验对象，你被要求想象《蒙娜丽莎》（Mona Lisa）的样子。通过磁共振成像机扫描，我们发现，即使你没有用双眼看《蒙娜丽莎》，你大脑的视觉皮质却变亮。在你想象《蒙娜丽莎》这幅画作时，加兰特博士的项目便开始扫描你的大脑，并且快速翻阅它自身的图片资料库，试图找出最匹配的图片。在一次实验中，我看到计算机选取了著名女星萨尔玛·海耶克（Salma Hayek）的图片充当蒙娜丽莎的近似值。当然，普通人能够轻而易举地识别出成千上万张面孔，但计算机能分析出一个人大脑中的图像，并从数百万张任意图片中挑选出合适的图片，这足够让人刮目相看。

整个程序的目的在于创建一部精确的字典，让你能迅速将现实世界中的物体和你大脑中的核磁共振成像模式匹配起来。总的来说，要达到细节上的匹配十分困难，或许需要花费数年的时间，但有的类别解读十分容易，只需快速浏览图库便可得出。巴黎法兰西学院的斯坦尼斯拉斯·德阿纳（Stanislas Dehaene）博士曾专注于大脑顶叶的磁共振成像扫描，这个实验是关于数字的识别，其中一位博士后很随意地说，只要通过快速扫描核磁共振成像模式，他就能说出实验对象看到的数字是什么。事实上，特定数字会在核磁共振成像扫描过程中生成独特的模式。他指出："如果你在这一区域捕捉了200个立体像素，并观察哪些活跃，哪些不活跃，你就可以构建一架能够解码记忆中的数字到底是多少的机器识别装置。"

这也给我们留下了这样一个问题：我们何时才能拥有高清图像质量的我们思想的视频。不幸的是，当实验对象在心目中想象这个图像时，信息却遗失了。对大脑扫描更加证实了这一点。当你将实验对象看一朵花时的大脑磁共振成像扫描图与其想象一朵花时的大脑磁共振成像扫描图进行对比时，你会立刻发现，较之第一幅图，第二幅图的点要少很多。所以说，尽管这项技术在未来几年内会快速地取得进步，但永远不会完美。(我曾读到过这样一则小故事：有一个人巧遇一个精灵，精灵对他说，我可以给你任何你想得到的东西。这个人毫不犹豫地说他想要一辆豪华轿车、一架喷气式飞机和100万美金。开初，这个人狂喜无比。但当他仔细查看许愿后所得到的这些东西时，他发现豪车和飞机没有引擎，美元上的肖像也模糊不清。得到的所有东西都毫无用处。这是因为我们的记忆只是真实事物的近似值而已。)

但考虑到科学家们已经开始解码大脑的磁共振成像模式，科学技术发展的速度又如此惊人，会不会在不久的将来我们就能真正地解读萦绕在人们心灵中的文字和思想呢？

解读心灵

实际上，就在加兰特实验室旁的另一幢大楼里，布赖恩·帕斯利（Brian Pasley）博士和他的同事们正在解读人的思维——至少从理论上看。布赖恩博士团队里的一位名为萨拉·什切潘斯基（Sara Szczepanski）的博士后对我说，他们能够识别心灵中的文字。

目前科学家们用的是一种名为皮层脑电图（ECOG）的技术，这种技术对于解读脑电图扫描所得出的"乱码"一样的结果来说，是一种巨大的进步。由于信号是从大脑直接记录下来，而没有经过头颅骨，皮层脑电图扫描技术无论在精确度上还是解决问题的性能上都是空前的。不幸的是，被实验的人要去掉头盖骨的一部分，用来放置一个装有64个电极的8×8网格，也就是将它直接置于裸露大脑的上面。

幸运的是，他们得到了在癫痫病人身上做皮层脑电图扫描实验的许

可，癫痫病人必须忍受疾病发作时的衰弱感。皮层脑电图网格置于病人的头部，而开颅手术则由邻近的加州大学旧金山分校的医生主刀。

当病人听到各种词语时，他们大脑传来的信号经过电极最后被记录下来。最终得到一部能与大脑里电极发出的信号相匹配的“词典”。接下来，每当病人听到一个词语时，我们能看到相同的电子模式。这种匹配模式意味着每当病人听到一个特定词语时，计算机就能挑选出这一词语信号，并识别出来。

有了这种技术，完全产生“心灵感应交谈”便成为了可能。同样的，完全瘫痪了的中风患者或许能够通过一部可以识别个体语言的大脑模式的语音合成器“开口说话”。

脑-机接口（BMI）技术能成为一片前景无限的领域，一点也不出人意料，全美国有很多家企业在该领域取得了突破性进展。2011年，犹他大学的科学家得到了相似结果。他们将皮层脑电图网格，每格装有16个电极，置于大脑面部运动皮层上（它控制着嘴、唇、舌头、面部的运动）和韦尼克氏区（处理语言信息的区域）。

病人被要求说出十个常用词语，如“是”和“不是”、“热”和“冷”、“饥饿”和“口渴”、“你好”和“再见”、“更多”和“更少”。当病人说出这些词语时，计算机就会将大脑发出的信号记录下来，如此一来，科学家们就能建立一种所说词语和大脑发出的计算机信号之间一对一的对应机制。接下来，每当病人说出特定词语时，科学家们就能准确地识别出每个词语，准确率在76%～90%之间。下一步是用每格装有121个电极的网格，以得到更好的分辨率。

或许在将来的某一天，这一实验能造福于遭受中风或其他瘫痪性疾病折磨的患者，如卢格里克氏（Lou Gehrig）疾病，那时候他们就能利用大脑-计算机互动技术“说话” 了。

用意念打字

在明尼苏达州的梅奥诊所（Mayo Clinic），杰瑞·施（Jerry Shih）博士通过皮层脑电图（ECOG）传感器将几位癫痫患者连接起来，由此他们能够学习如何用意念打字。这种设备的校准十分简单。先让病人看一连串字母，要他们集中注意力仔细观察每一个符号。当病人浏览每一个字母时，计算机将其大脑所发出的信号及时记录下来。和其他实验一样，一旦一对一字典建立起来，实验者所需要做的就很简单了，他只需要想象一下某个字母，而这个字母就会显示在大屏幕上，这就是用意念的力量写字。

该项目的领导者施博士表示，这台机器的准确率接近100%。施博士坚信，接下来他一定能设计出可记录患者脑海中的图像的机器，而不仅仅局限于文字。这一技术或许能造福于艺术家和建筑师，但正如我们

所提到过的，皮层脑电图技术的最大缺点在于它需要打开病人颅骨。

与此同时，脑电图（EEG）打字机属于微创技术，因而已经进入市场。虽然脑电图打字机没有皮层脑电图打字机那么精准，但前者所具有的优势是无创伤的。位于奥地利的古格医学工程公司（Guger Technologies）近来在一次商品交易会上展示了一台脑电图打字机。据公司官员表示，只要花上10分钟便能学会如何操作这台机器，而且这台机器能以每分钟5～10个词的速度运行。

心灵感应的口述和音乐

下一步应该是传输整个对话了，这一步能大幅度加快心灵感应传输的速度。然而，也存在一定问题，这一环节需要一幅有数千词语与脑电图、磁共振成像或皮层脑电图信号之间一对一的地图。但假如有人能够，打个比方，识别出数百个所选词语的大脑信号，那么他或许可以快速地传输普通交谈过程中的词语。这意味着一个人可以想象某句话的某些词语或某段对话中的某几句话，而计算机则能够将它们打出来。

这项技术对于记者、作家、小说家、诗人来说可谓十分有用，因为他们可以单纯地动动脑子，计算机就能根据他们的意念将文字打出来了。由此，计算机也就成了人的精神秘书了。你可以用意念向机器人秘书下达指令，告诉它晚餐吃什么、让它给你安排飞机票或假日行程，它会为你把所有事情都打理得井井有条。

未来的某一天，不仅文字可以通过这一技术口述，甚至音乐也可以利用这一技术来转录。有了这种技术，音乐家们只需在脑海中哼唱几段旋律，计算机就能将音乐以乐符的形式转录出来。为了实现这一效果，你可以让其他人哼唱一段小曲儿，这一段小曲儿需要对每个人都产生特定的电子信号。在这一过程中，创建一部词典同样是必不可少的，有了词典，无论你脑子里想的是什么音符，计算机都能以音符的形式将歌曲打印出来。

在科幻小说里，心灵感应可用于跨越种种语言障碍达到交流的目的，因为思想被认为是宇宙里通用的语言。然而，这可能不是真实的。情绪和感觉或许可以是非口头的“语言”且宇宙通用，因而可以通过心灵感应的方式传达给其他人，但理性思维是与一个人的语言紧密联系在一起的，所以，将复杂的思想跨过重重语言障碍传递给他人是不太可能的事情。词语还需以人们原始语言的方式进行心灵感应传输。

心灵感应头盔

在科幻小说里，我们常常遇到心灵感应头盔。将它戴在头上，一眨眼的工夫，你就可以读懂别人脑子里想的是什么。美军曾表示过对这一技术很有兴趣。可以设想一下：两军交战，　炮弹爆炸时发出剧烈声响，

从头顶飞过的子弹发出嗖嗖声，在这样恶劣的环境里，有一顶心灵感应头盔无疑就是救命稻草，因为在战火纷飞的嘈杂环境中无法和战友进行交流。(我自己就能证明这一点。多年前，正值越战期间，我在乔治亚州亚特兰大城外的美国步兵本宁堡基地服役。在机关枪训练课上，手榴弹的爆炸声混杂着子弹的嗖嗖声，简直震耳欲聋；当时的声音实在是过于尖锐，以致我什么声音都听不到。训练结束后，我的耳鸣一直持续了整整三天。） 假如有了心灵感应头盔，无论战场上多么嘈杂，同排的战士们就可以通过心灵进行交流了。

近来，美军向奥尔巴尼医学院的格温·沙尔克（Gerwin Schalk）博士提供了630万美元的赞助，但美军深知，距离功能成熟完备的心灵感应头盔的诞生还遥遥无期。沙尔克博士结合皮层脑电图技术进行试验，正如我们所知道的那样，皮层脑电图需要直接在裸露的大脑顶部放置装有电极的网格。利用这种方法，他的计算机可以识别出立体像素和大脑所想的36个独立词语。在部分试验中，他取得过100%的准确率。但到目前为止，这一技术对于美军来说还不太现实，因为这一过程需要在干净无菌的医疗环境下去掉部分头盖骨。尽管如此，识别出立体像素和词语距离在战场上将紧急信息传送给指挥部的终极目标还相距甚远。但沙尔克博士的皮层脑电图实验却表明了在战场上实现心灵上的沟通是可行的。

纽约大学的戴维·珀佩尔（David Poeppel）博士则在探索另一种方法。他的方法不用开颅，取而代之的是运用脑磁图（MEG）技术，用微型磁能脉冲取代电极，在大脑中产生电荷。除了无创的优点外，较之速度稍慢的磁共振成像扫描技术，脑磁图技术还能准确测量瞬息万变的神经活动。在珀佩尔博士的实验中，他能成功记录下实验者默想某个词语时其听觉皮层上的电子活动。但这种记录方式的缺点在于，它仍需要动用大型机器来产生磁脉冲。

显而易见，人人想要一种无创的、移动方便且检测结果准确的方法，因此，珀佩尔博士希望将其研究的脑磁图技术用脑电图传感器来做补充，弥补其不足。但真正的心灵感应头盔的问世恐怕还遥遥无期，因为脑磁图和脑电图扫描技术的准确性均有待提高。

手机里的磁共振成像仪

目前，我们的认识还被现存设备的相对落后局限着。但随着时间的推移，越来越精密高端的设备将会涌现出来，通过这些设备，人们对心灵的了解就会越来越深入。或许在不久的将来，一项伟大的科学突破就是磁共振成像机变成了手持式的。

现阶段的磁共振成像机之所以那么大，是因为接受检查者需要均匀的磁场才能查出问题来。磁体越大，所得到的磁场就越均匀，最终得到的图像就越准确。然而，物理学家们熟谙磁场的数学特性（19世纪60年

代，詹姆斯·克拉克·麦克斯韦发现了磁场的数学特性）。1993年，德国的伯恩哈德·布吕米希（Bernhard Blümich）博士和他的同事们研发出了世界上最小的磁共振成像机，其体积只有一个公文包那么大。这台机器采用的是微弱而失真的磁场，但超级计算机能够分析出其磁场，并将其修正，因而这台机器可以生成逼真的3D图像。考虑到计算机的处理速度平均每两年就会提高两倍，如今的计算机足以分析这种公文包大小设备的磁场，并补偿其失真的部分。

为了向人们展示其机器，2006年，布吕米希博士和他的同事们对“冰人奥茨”（Ötzi）进行磁共振成像扫描，“冰人奥茨”大约是在5 300年前，也就是最后一个冰河时期结束时被冰封冻起来的。因为“冰人奥茨”被冰封时的造型十分怪异，他的两臂张开，因此不方便将他硬生生地塞进传统的磁共振成像机的圆筒里进行扫描，但布吕米希博士的便携式机器就能轻松地为“冰人奥茨”拍摄磁共振成像照片。

有物理学家推测，随着计算机处理速度的不断提高，未来的磁共振成像机可能只有手机那么大。来自这部“手机”的原始数据会通过无线技术传输给超级计算机，这台超级计算机负责处理来自微弱磁场的数据，最终加工成3D图像。(磁场微弱则由计算机处理速度的提高来补偿。）这一定能极大地推进研究进程。布吕米希博士表示：“或许《星际迷航》（Star Trek）中的三录仪也不是那么遥不可及的梦。”(三录仪［tricorder］是一种小型的手持式扫描设备，它能瞬时诊断出病人所患何病。又称手机传感器。） 将来，或许我们自家药柜里的计算机的能力，比如今现代化大学医院里的计算机的能力更强大。到了那个时候，你就不用苦苦哀求医院或大学的许可，使用昂贵的磁共振成像机，你大可在自家客厅里，在自己身上摆弄几下便携式磁共振成像仪，把搜集到的数据电邮给实验室，请他们给你分析检查结果。

这也可能意味着，或许在未来某个时候，磁共振成像心灵感应头盔会成为可能，它比脑电图扫描技术具有更佳的性能。现在我们要思考的是在未来几十年里，这种头盔是怎样发挥作用的。在头盔内部装有生成弱磁场和无线电脉冲的电磁线圈，弱磁场和无线电脉冲会进入大脑进行检查。磁共振成像原始信号会传输到置于随身腰带上的口袋大小的计算机上。然后信息会通过无线电的形式传给置于战场千里之外的服务器上。数据的最后一道加工会由位于遥远城市的一台超级计算机来完成。接下来，信息再通过无线电形式反馈给战场上的战士们。战士们会通过扬声器或置于其大脑听觉皮层的电极收到消息。

美国国防部防御高级研究计划局和人类增强

人类增强这个项目研究的开销巨大，谁会为这个项目买单呢？目前私人企业对这一尖端技术刚刚显现出兴趣，但对于大多数企业来说，资助这项研究存在的风险太大，它们可能永远都无法收回成本。因而私人赞助不大可能。事实上，该项目的主要赞助商是DARPA（美国防御高级

研究计划局），该机构曾引领过20世纪的几项重要科技项目。

1957年，俄国人将人类第一颗人造地球卫星（“伴侣号”）送入轨道后世界为之震惊，德怀特·艾森豪威尔总统便一手创建了美国国防部防御高级研究计划局（DARPA）。艾森豪威尔总统隐约感觉到美国在高科技领域可能要被苏联超过，于是他便创立了这样一个机构，旨在保持美国的竞争力，不被俄国人超越。随着时间的推移，许多DARPA 曾经手的项目逐步发展壮大，并成为独立实体。其中一个子机构便是今天的美国国家航空航天局（NASA）。

美国防御高级研究计划局（DARPA）的战略计划看上去像是一部科幻小说：它“唯一的章节便是根本性的革新”。它存在的唯一理由是“加快未来的到来”。DARPA 的科学家们总是不断推进物理学可能达到的边界。正如DARPA的前官员迈克尔·戈德布拉特（Michael Goldblatt）所说，他们试着不违背物理学规律，“或者说至少不会故意违背。或者每项工程不超过一次。”

然而，将DARPA和科幻小说区分开来是它的历史业绩，这些业绩的确是令人吃惊的。20世纪60年代，它早期资助的项目之一便是阿帕网（Arpanet），这是为第三次世界大战发生后能够通过电子方式连接科学家和军官的战时通讯网络。1989年， 美国国家科学基金会决定，鉴于苏维埃阵营已经解体，也就没有必要对阿帕网进行保密，于是便撤销了这个神秘军事科技的密级，并基本公开了所有密码和计划书的内容。阿帕网渐渐成为了互联网的一部分。

美国空军需要在太空对其弹道导弹进行引导，DARPA便建立了代号为57的项目，该项目为高度保密项目，目的是要把氢弹定点投放到非常坚固的苏联导弹发射井中产生热核交换反应。该项目后来为全球定位系统(GPS)的诞生奠定了基础。如今它被用来为迷途的驾驶员导航，而不是为导弹导航。

DARPA（美国防御高级研究计划局）在改变20世纪和21世纪的众多发明中发挥过关键性作用， 如手机、夜视镜、通讯科技的进步、气象卫星等。我曾有幸与DARPA的科学家和官员交谈过几次。一次，我在一场满是科学家和未来主义者的宴会上与DARPA的前主管共进午餐。我向他请教了一个困扰我很久的问题：为什么我们要依赖犬嗅探包裹来检查易爆物？我们的传感器也足以分辨出易爆化学物的气味。他回答说，DARPA 也积极调查过这一问题，但后来遇到一些较大的技术性难题。他说，犬的嗅觉经历了百万年的进化，它能够探测出分子微粒，这种程度的嗅觉灵敏度很难有其他动物与其比肩，甚至是如今精密最好的感应器。由此看来，在很长一段时间里，我们还得继续依靠犬对机场进行安检。

还有一次，一群DARPA 的物理学家和工程师专程来到我做的关于未来科技的访谈节目。事后，我问他们有没有什么顾虑。他们表示，确

实有一个顾虑，那就是自身公众形象问题。大多数人对于DARPA可谓闻所未闻，但有的人将DARPA与政府见不得光的种种阴谋联系在一起，从外星人的地下组织到第51区，到罗斯威尔镇，再到天气控制云云。他们叹了口气。如果这些传闻都是真的，他们倒是可以借助外星人的技术为自己的研究助力了！

DARPA得到了30亿美元的资助后，将目光聚焦在脑-机接口技术上。当提及这一技术可能运用的领域时，DARPA 前官员迈克尔·戈德布拉特进一步扩展了人们想象力的边界。他说："想象一下，如果战士能通过思维进行交流……想象的生物武器袭击就成了微不足道的威胁。再静静地设想一下，假如学习变得和吃饭一样简单，身体受损部位的切除变得和开车去买快餐那样方便。尽管这些事情听起来显得不切实际，或许你并不认为它们会真的发生，但这些都是防务科学办公室（DARPA的一个部门）的日常工作。"

戈德布拉特相信，总有一天，历史学家会得出这样的结论：DARPA的早期遗产将是人类的进步，"我们未来的历史力量"。他说，当谈及人类进步的意义时，那句知名的军队口号——"发挥你的无限潜能"似乎有了新的含义。或许迈克尔·戈德布拉特在DARPA 如此拼命地推动人类增强绝非意外。他的女儿正经受着脑中风的折磨，只能在轮椅上度日。尽管她一直需要外力支撑，并且疾病使得她的行动十分迟缓，但坚强的她始终勇敢地面对种种挫折。她的梦想是走进大学校园，在将来开一家自己的公司。戈德布拉特深知，女儿就是她不断奋斗的动力。正如《华盛顿邮报》编辑约耳·加罗（Joel Garreau）所说："他所做的就是斥巨资创造可能成为推动人类进化的促动器。不仅如此，在未来的某一天，它所研究的科技不仅能帮助他女儿摆脱轮椅，或许还能让她超越梦想。"

隐私问题

每个首次听说读心术机器的人或许会担心个人隐私问题。有人会认为，某个地方隐藏着的读心机可能会未经自己的许可就擅自解读自己的隐私，这种事情难免让人惶恐不安。正如我们所强调的，人的意识总是不断地规划未来。为了让这些规划更加准确，有时我们会设想到某些违反道德或法律的领域，但无论我们会不会将这些计划付诸实践，我们总是倾向于将其看作是个人隐私。

对科学家而言，如果可以站在很远的地方手持一部便携仪器就能解读人们脑子里想的是什么，而不是用体积大且十分笨重的头盔或通过复杂的外科手术对实验者进行开颅，那生活就轻松多了。但物理学定律使读心成为极为困难的事情。

当我问及西本博士（加兰特博士的伯克利实验室工作人员）关于隐私的事情时，他微笑着回答说，无线电信号在大脑外会迅速减弱，因此，这些信号在大脑外就变得既分散又微弱，即使是对站在几英寸外的

人都难构成影响。(在中学的时候，我们就学过牛顿的万有引力定律，以及引力和距离成平方递减的规律，因此假如你站在某颗行星上，将该行星与地球的距离增加为原距离的2倍，地球对其引力便会减少为原来的1/4。但磁场减弱的速度远比距离的平方快得多。大多数信号与距离成立方或四次方的递减速度，因此，假如你将磁共振成像机的距离增加为原距离的2倍，那么磁场会减少为原来的1/8或更小。)

此外，外界的干扰是不可避免的，外来干扰会使本身就微弱的大脑传来的信号更加微弱。这就是科学家们为什么需要严格的实验条件做研究的其中一个原因，并且即使是这样，在规定时间内他们能提取到的也仅仅是思考着的大脑里的几个字母、几个单词或几张图片而已。这种技术目前还不甚成熟，因此还不能记录大脑同时思考很多字母、词语、短语或感觉信息等排山倒海般的思维流，因此使用这种设备解读人们的心灵并不像电影里表演的那么玄乎，预计在未来几十年内都无法达到那种程度。

在相当长一段时间内，对大脑的扫描仍需在实验室条件下直接接触大脑。但针对未来可能有人在遥远地方非法解读你的思维这种目前非常不可能出现的情况，我们仍然有应对之策。为了防止你最私密的想法不被人非法解读，你可以在头上戴个防护罩，防止脑电波被窃取。这一点可通过一种叫做法拉第罩（Faraday　cage）的东西实现，这种设备是著名的英国物理学家迈克尔·法拉第在1836年发明的，但其功效是本杰明·富兰克林最早发现的。从根本上讲，电流遇到这种金属罩后会迅速分散开来，因此这种金属罩内部的电场为零。为演示其效果，物理学家们（我在内）曾进入一个金属笼子里，这一金属笼子的外围均被施加了强电击。很神奇的是，我们却毫发无损。这就解释了飞机遭受雷击后能毫发无损，以及为什么电缆芯线要用金属线包裹着。类似地，心灵感应头盔的外侧也应该有一层薄薄的金属层覆盖着。

通过纳米探针进入大脑实现心灵感应

还有另一种方法可以在一定程度上解决隐私问题，并克服将皮层脑电图传感器植入大脑的难题。未来，也许能够利用操控单个原子的纳米技术，将纳米探针网植入大脑，用它探索人的思想世界。我们所说的纳米探针是用纳米碳管做成的，这种材料具有导电性，且十分细小，绝对符合原子物理学定律。纳米碳管由排列在一个只有几个分子那么厚的管道内的单个碳原子组成。（纳米技术是科学界密切关注的一个领域，这一技术很可能在未来几十年内革新当前科学家们探索大脑的方法。）

纳米探针需要精确放置在大脑里控制特定活动的区域。要传输言语和语言，纳米探针应放置在左颞叶处。要想处理视觉图像　，纳米探针需放在丘脑和视觉皮层上。情绪信息应在杏仁核和大脑边缘系统通过纳米探针进行传递。纳米探针传出的信号会被传给一台小型计算机，这台计算机负责处理信号并通过无线电将信息传给服务器，最后再上传互联

网。

由于你可以在其思想通过光缆或互联网进行传递时对其进行完全控制，因此隐私问题也得到一定程度上的解决。只要有一台接收机，任何人都能接收无线电信号，但要想随意接收光缆传来的电子信号就没那么简单了。纳米探针可通过微创手术植入大脑，因此，通过开颅手术将复杂的皮层脑电图网格植入大脑的传统方法也就可以随即淘汰。

有的科幻小说家甚至编织这样的情节：在未来，从婴儿出生的那一刻就将纳米探针毫无痛苦地植入其大脑，这样一来，这个孩子终身都可以和他人进行心灵感应了。就像《星际迷航》的情节那样，在电影中虚构的地方博格（Borg），孩子一出生就一律在体内安装植入物，这样他们就可以和其他人进行心灵交流了。对于这些孩子来说，没有心灵感应的世界简直无法想象。因而他们把心灵感应看作是再寻常不过的事情。

由于纳米探针很小很小，外界是无法看到的，也就不会遭到外界的抵触和排斥。或许在人的大脑内永久性植入探针的做法会遭到社会的普遍反对， 对此，科幻小说家认为，人们会慢慢接受这种技术，因为时间会证明其益处和功用，就像试管婴儿刚出现时遭到人们的排斥，如今也为世人所接受了。

法律问题

在可预见的很长一段时间内，我们要面临的问题不会再是人们能不能通过一台隐藏在暗处的仪器遥远地解读其他人的思想，而是我们是否同意自己的思想被别人记录下来。假如某些不道德的人得到了这些文件，后果又会是怎样的？由于大家都不愿意在未获得自己同意的情况下让自己的思想被窃读，这就涉及道德问题了。布赖恩·帕斯利博士这样说："我们确实应该考虑道德层面的东西，当然不是目前的研究，而是在这种技术推广之后。我们必须权衡利弊。假如我们能成功地解密人的思想，这必定会造福成千上万无法和他人交流的残疾人士。但另一方面，人们很是顾虑，会不会有人把这项技术强加在不愿意者身上。"

一旦解读人的心灵成为可能并将其记录下来，一连串的道德和法律问题便会接踵而至。这是任何新技术诞生的普遍现象。从历史上看，需要耗费很多年才能建立起能完全解决新技术的附带问题的法律体系。

例如，版权法也得重新修订了。假如有人通过窃读你的思想而盗走了你的发明怎么办？思想能申请专利吗？究竟谁才能拥有这一想法？

如果政府介入的话，另一个问题又来了。正如诗人约翰·佩里·巴洛（John Perry Barlow，同时也是"感恩而死"［Grateful Dead］乐队的词作者）曾说过的那样："靠政府保护人民的隐私，就好比让一个有偷窥癖的色狼在你的窗户上装几个猫眼。"在你受到审问时，警察是否有权解读你的思维？目前已经有法庭受理过被指控的犯罪嫌疑人拒绝交出自己的

DNA 作为证据。在未来，政府是否可以在未取得你的允许就解读你的思想，如果可以，在法庭又能否这样做呢？读心术得到的结果可信度有多大？同样的，磁共振成像测谎仪只能检测增加了的大脑活动，值得注意的是，想象犯罪和真正实施犯罪是两个截然不同的概念。在审问过程中，辩护律师很可能反驳称，这些想法只是当事人的胡思乱想而已，不具有任何意义。

还有其他关于瘫痪人士的人身权利考虑。如果他们想立一份遗嘱或其他任何具有法律效力的文件，单凭大脑扫描就足以建立一份具有法律效力的文件了吗？我们可以设想一下，假如有一位病人，身体虽然完全瘫痪，但思维十分活跃敏捷，还想和别人签订合同或者管理自己的资金。假如这种技术还没那么完善，那么这样的文件是否具有法律效力？

物理学里没有任何定律能解决此类道德层面的问题。在这一技术成熟起来之前，所有的问题就留给法官和陪审团在法庭上解决吧。

与此同时，政府和企业得想出新招防止各种间谍活动了。工业间谍依然成为资产达数百万美元的庞大产业，许多政府和企业不惜斥巨资建立昂贵的“安全室”，用来专门扫描各种窃听器和监听设备。在未来世界里(假设那时人们已经掌握从远距离听取脑电波的技术), 安全室的目的便是防止源自大脑的信号发生意外泄露事件。这些安全室外墙壁上必须加固一层金属外壳，这样就能形成像法拉第金属罩一样的保护层，防止室内的秘密流失到室外。

从历史上看，每当一种新的辐射形式被开发出来，就会有间谍试图利用它做间谍活动，我想脑电波也不会例外吧。其中最出名的案件便是当年发生在美国驻莫斯科大使馆，藏匿在美国国玺里的微波设备事件。从1945—1952年，这个小东西一直从美国外交官直接向苏联人秘密传输各种绝密信息。即使在1948年柏林危机和随后的朝鲜战争时期，苏联人都在使用这一窃听装置破译美国人的种种计划。如果不是那位英国工程师无意中在一段开放的无线电波段上听到里面的秘密谈话，或许直至今日，这台设备仍然在发挥作用，不断泄露秘密，小小的机器没准能改变“冷战”乃至世界的历史进程。取出这一窃听器后，美国工程师们十分震惊，这么多年他们居然没能将其检测出来，就因为这个装置属于无源型的，不需要任何能源补给。（因为这一设备是通过置于远方的微波束来补充能源的，因而苏联人巧妙地躲过了美国人的各种检测。） 未来的间谍也有可能发明某种间谍装置用同样的方式窃取脑电波。

尽管这一技术尚处于起步阶段，但心灵感应渐渐地会成为我们生活中的一个既定事实。将来，我们或许能通过心灵和外部世界进行互动。但科学家们想要的可不只是解读人的心灵，因为这样很被动。他们想要掌握主动权——利用意念移动物体。心灵遥感（telekinesis）通常被认为是上帝才拥有的能力。只有神仙才能根据自己的意愿来创造现实。这种能力是人的思想和渴望的最终表达。

将来我们也会拥有这种能力的。

4　心灵遥感：意念控制事物

在将来危险早晚会出现……人类文明最伟大的进步是那些起源于社会，但又几乎颠覆社会的进程。

——阿尔弗雷德·诺思·怀特海

（**Alfred North Whitehead**）

凯西·哈钦森（Cathy　Hutchinson）失去了行动能力，整个身体一动也不能动。14年前，她患上严重中风，从此便瘫痪了。和成千上万个丧失对肌肉和身体功能控制能力的瘫痪病人一样，她成了一个四肢瘫痪的病人。一天中的大多数时候，她只能无助地躺着，需要持续不断的照料，然而她的意识是清醒的。

但在2012年5月，她的命运发生了剧烈变化。布朗大学的科学家在她头顶部安装了一种叫做“大脑之门”（Braingate）的芯片，这种芯片很小，它通过无线形式和计算机联系在一起。从她大脑传来的信号经过这台计算机转给了一个机器手臂。只要动动脑子，她就可以逐步学会如何控制机器手臂的运动，渐渐地她就可以通过这个机器手臂取瓶装水，并且将水送到自己嘴边。对她来说这是多年来第一次能够掌控身边的事物。

由于瘫痪的她不能张口说话，因此她通过转动眼珠来表达兴奋之情。有一台设备记录了她眼睛的活动，并将其转化为文字打出来。当有人问她在瘫痪多年后又获得新生有什么感想时,她这样回答：“欣喜若狂！”当期待着有一天她的腿和脚也能通过计算机连接到大脑时，她这样说道：“我很想装一个机器腿做支撑。”中风前的她热衷于烹饪和园艺。她接着说：“我相信总有一天，我会再次走进厨房和花园的。”按目前数码假肢发展的速度看，相信她的梦想在不久的将来定会实现。

约翰·多诺霍（John　Donoghue）教授与他的同事们在布朗大学和犹他大学研发出了一种微型传感器，这种传感器就像一座桥梁一样，能够沟通那些丧失语言功能的病人和外部世界。我采访他时，他这样告诉我：“我们将一个只有婴儿用阿司匹林药片或4毫米大小的传感器植入病人的大脑表面。正是因为能够收集到大脑脉冲的这96根非常细小的‘头发’或电极，传感器才能收到你想移动手臂的信号。我们选择手臂是因为手臂的重要性。”由于运动皮层近几十年来得到了细致的研究，因此可以直接在控制特定四肢的神经元上植入芯片。

大脑之门的关键之处在于将芯片传来的神经信号转化为能在现实世界移动物体的具有实际意义的指令，从计算机屏幕上的光标开始。多诺

霍教授告诉我，他的做法是告诉病人，在脑海里想一种能够移动电脑屏幕里光标的方法，比如将光标移至右边。记录与此任务相应的大脑信号只用了几分钟。依照此法，计算机无论在任何时候探测并识别出这样的大脑信号，它就会把光标移动到右边。

如此，无论何时，只要实验者想把光标移到右边，计算机就会把光标移到右边。由此一来，病人所想象的特定动作和现实动作本身就形成了一对一的图表。病人可以立即尝试着控制光标的移动，事实上第一次试手就可以做到。

大脑之门打开了神经义肢技术这片全新领域的大门，让已经瘫痪的病人通过意识的力量来移动假肢。此外，大脑之门技术让患者能与其最爱的人进行直接沟通。大脑之门芯片第一版在2004年问世，该版本设计的目的是用来实现瘫痪病人和笔记本电脑之间的交流。不久后，这些病人开始了上网、收发电子邮件，以及控制他们的轮椅。

前不久，宇宙学家斯蒂芬·霍金（Stephen Hawking）安装了一个神经义肢设备，和他的眼镜连在一起。这一设备就像一台脑电图传感器一样，能够将霍金的思维和计算机连接在一起，这样一来，他就能保持自己同外部世界的联系了。

虽然目前这种技术还处于起步水平，但和这种技术相似的设备最终会发展得更加高端，配备更多频道，并且更加灵敏。

多诺霍教授对我说，所有这一切，都会对病患者的生活产生深远影响，他说："这一技术的另一种用途是你可以把这种计算机与任意设备连接起来，比如烤面包机、咖啡机、空调、电灯开关、打字机等。如今，做到这些已是十分简单了，而且成本也不高。有了这种技术，完全无法行动的四肢瘫痪病人便可以自由地切换电视频道、自主开关灯，无须任何人进房间帮扶，完全自食其力。" 通过计算机，最终他们可以像健全人一样处理任何事情。

修复脊髓损伤

不少人士患有脊髓损伤。针对这一问题，西北大学的科学家们找到了另一个突破口，他们将猴子的大脑和手臂直接连在一起，这样就可以绕开受损的脊髓了。1995年,悲剧降临在好莱坞影星克里斯托夫·里夫（Christopher Reeve）身上，他在电影《超人》（Superman）中翱翔太空，但却因为脊髓损伤而完全瘫痪。悲剧是这样开始的，他从马背上跌下来时摔伤颈部，头正下方的脊髓因此受损。假如他能再多活几年，或许就能看到科学家们试图用计算机替换受损脊髓的努力了。仅在美国就有超过20万人患有不同程度的脊髓损伤。早几年时，患有这种疾病的人或许在事故发生后不久就会死去，但由于现今严重创伤治疗技术取得了巨大进步，每年都有越来越多的人从此类损伤中存活。我们能够想象

在伊拉克和阿富汗，成千上万的士兵因误踩路边地雷而伤痕累累，落下残疾。 要是算上因中风或其他疾病如肌萎缩性脊髓侧索硬化症(ALS)致瘫的病人，那么瘫痪人数可能要飙升至200万了。

西北大学的科学家们将一枚装有100个电极的芯片直接植入猴子的大脑里。当猴子完成抓球，将球举起，再放入一个管道里这一连串动作时，猴子大脑里传来的信号会被详细记录下来。由于每完成一个动作对应特定神经元的释放，科学家们便能一步步解码这些信号。

当猴子想要活动其手臂时，从猴子大脑里传来的信号由一台计算机利用解码得到的密码进行处理，他们将信号直接传递给猴子的手臂神经，而不是传给机械手臂。李·米勒（Lee Miller）博士说："我们从猴子的大脑中截获命令臂和手如何移动的自然脑电波信号，并将这些信号直接传给肌肉。"

经过反复试验，猴子学会了如何协调其手臂上的肌肉。李·米勒博士接着说："猴子的这一动作学习过程和人类学习使用一台新电脑、鼠标，或学着使用一副新的乒乓球拍的过程十分相似。"

(考虑到猴子大脑里的芯片只有100个电极，它就能掌握如此多的手臂动作实属神奇。米勒博士指出，手臂控制过程涉及数百万个神经元。大脑完成所有复杂的处理过程后，100个电极就能得到相当于释放数百万个神经元才能得到的效果，原因在于芯片和输出神经元连接在了一起。通过这种精密的分析我们可以得出，这100个电极只负责向手臂反馈信息。)

这一设备只是西北大学科学家们所设计的众多设备中的一个，有了它们，病人们就可以绕过受损的脊髓。另一种神经义肢技术利用的是肩部的运动对手臂进行控制。向上耸肩可以让手合并，向下耸肩则让手张开。病人还能将手指卷曲成杯状，还能操控拇指和食指捏住钥匙。

米勒博士总结道："这种将大脑和肌肉连接起来的技术总有一天会运用于临床，帮助因脊髓损伤致瘫的病人重新开始正常生活，完成日常生活中的各种活动，让病人更大程度地过上独立自主的生活。"

革新假肢

大部分支撑这些了不起的研究的资金来自DARPA（美国防御高级研究计划局）的一项名为"革新假肢"的计划，该计划包含1.5亿美元，自2006年起就一直为这些项目提供资金援助。"革新假肢"计划背后一个强有力的支持者是美国陆军退休上校杰弗里·林（Geoffrey Ling），他是一名神经学家，曾多次走访伊拉克和阿富汗。他曾亲眼目睹战场上被埋在路边的炸弹炸得面目全非的尸体，这一幕令他触目惊心。在以前的战争中，许多勇敢的士兵们将会现场死亡。但是今天，我们有了直升机和完备的医疗设施，许多伤员虽然会忍受身体上的疼痛，但至少可以活命。

超过1 300名从中东归来的士兵失去了手或腿。

林博士时常问自己，能否找到一种科学方法来替代失去的四肢。有了美国国防部的支持，他要求自己的团队在五年内找到切实可行的解决方法。此要求一经提出，他便遭到不少怀疑。但面对别人的怀疑，他是这样回答的："世人笑我太疯狂，但只有在疯狂的状态下，奇迹才会发生。"

在林博士的热情鼓舞下，他的团队在这间实验室里创造出了奇迹。例如，在"革新假肢"项目的资助下，约翰·霍普金斯大学应用物理学实验室的工作人员们创造出了世界上最先进的机械手臂，这种机械手臂可以在三维空间内复制手指、手和臂的任何精细动作。无论在尺寸、力量，还是灵敏度上，它都和有血有肉的真手臂达到了一致。尽管它是用钢制成的，如果用肉色的塑料将它包裹起来，它和真手臂几乎毫无差别。

这种手臂曾附加到四肢瘫痪病人简·谢尔曼（Jan Sherman）身上，她所患的先天性疾病损坏了大脑和身体间的联系，致使她颈部以下的身体完全瘫痪。在匹兹堡大学，科学家们将电极直接植入她的大脑顶部，然后再将电极依次接到一台计算机和一个机械手臂上。机械手臂移植手术五个月后，她出现在了著名电视节目《60分钟》的节目现场。面对全国的观众朋友，她兴奋地用"新手臂"跟大家挥手打招呼。为了显示这只手臂所含的高超的技术水平，她给林博士轻轻地来了一拳。

林博士这样说："在我的梦想里，我们能够将这种技术运用在所有病人身上，包括中风病人、脑中风病人以及失去行动能力的老年人。"

心灵遥感与你的生活

不仅科学家，就连企业家也在寻求脑-机接口(BMI)技术。他们希望将某些类似的新颖发明融入其永久的商业计划中。通过电子游戏、运用脑电图传感器的玩具（将脑电图传感器运用在玩具里，玩家不仅能够用意念控制虚拟世界里的东西，还能控制现实世界里的东西），目前脑-机接口（BMI）技术已经打入年轻人的市场。2009年,神念科技公司（NeuroSky）推出第一款类似玩具——意念球场（Mindflex）， 这款游戏运用脑电图传感器，玩家可以通过意念在迷宫里移动球。当玩家集中注意力并戴上意念球场脑电图传感器设备时，就能提高迷宫里风扇的速度，风扇就能推动小球沿着球道滚动了。

现今，意念控制视频游戏同样火热起来。有1 700家软件开发商同神念科技公司合作，它们大多依赖神念科技公司价值1.29亿美元的"脑电波移动头盔"（Mindwave Mobile headset）。这些视频游戏采用一种体积很小的戴在额头上的便携式脑电图传感器，有了这种设备，你就能在虚拟世界里纵横驰骋了，有了它，你就能通过意念控制游戏里你的化身了。在你控制化身的同时，你也可以向敌人开火，躲避敌人的攻击，可

以升级、得分等等，其他游戏有的一样不少，只有一点不一样，那就是这款游戏不用动手。

锐脑公司（SharpBrains，一家市场调研公司）的阿尔瓦罗·费尔南德斯（Alvaro Fernandez）这样评价神念科技公司："新兴视频游戏即将形成一个全新的生态系统，而神念科技公司会被定位成这个新行业的英特尔。"

除了使用虚拟武器，脑电图传感头盔还能探测到当你开始疲惫了，注意力开始分散。有关公司曾向神念科技公司咨询过，因为其工作人员在操作危险的机器时因注意力分散，或司机在开车时睡着而受伤。这一技术可能是一个救星，因为它能在工人或司机注意力分散时发出警报。脑电图传感头盔会在佩戴者打瞌睡时发出警报。(在日本，这种头盔已在热衷派对的交际达人圈里引起了流行潮流。当你将它戴在头上，这种脑电图传感器看上去就像猫耳朵一样。当某件事物吸引你的注意力时，"猫耳朵"会竖起来，当注意力散去时便随之耷拉下去。在各种派对上，人们只需动动脑子就能将浪漫的兴趣表达出来，这样你就能知晓你是否成功吸引到某人的注意了。）

但是，或许这一科技最新奇的用法要属杜克大学米格尔·尼科莱利斯（Miguel Nicolelis）博士的研究了。在我对他的采访过程中，他表示，他能复制很多能够在科幻小说里找到的设备。

智能手和心灵融合

尼科莱利斯博士展示了这种脑-机接口技术可以跨大陆作业。他将一只猴子放在跑步机上。猴子的大脑里植入了一枚芯片，芯片与互联网相连接。在地球另一端的日本东京，从猴子大脑里传来的信号被用来操纵机器人行走。在北加州一台跑步机上行走的猴子能在遥远的日本控制机器人的行走，且机器人的行走模式和跑步机上猴子的运动模式一模一样。仅用大脑传感器和食物诱惑，尼科莱利斯博士就成功地训练了这帮小猴子，让它们控制世界另一端的代号为CB-1的仿人机器人。

同时，他也在想办法解决脑-机接口技术存在的主要问题：感觉缺失。现今的人工义手对于触摸是没有感觉的，因此使用者能明显感觉到人工义手不是自己身体的一部分。由于义手没有感觉回馈，所以在与他人握手时很可能把对方的手指捏碎而自己全然不知。用机械手臂抓取鸡蛋壳几乎是一项不可能的任务。

尼科莱利斯博士希望通过建立脑-脑接口技术机制，从而绕开这个问题。大脑发出的信息应该传给配有传感器的机械手，而传感器又能将信息直接反馈给大脑，这样就能绕开躯干了。这种脑-机-脑接口(BMBI)技术保证了干净直接的回馈机制，这样一来，触摸就有感觉了。

最开始时，尼科莱利斯博士将恒河猴的大脑运动皮层和机械手臂连

在一起。这些机械手臂上配有传感器，传感器能通过连在躯体感觉皮层(躯体感觉皮层会记录触碰产生的感觉)的电极将信号回馈给大脑。而猴子在每次试验成功后都会得到奖励；经过4～9次试验后，猴子便学会这种设备的使用方法了。

为了达到目的，尼科莱利斯博士发明了一套新的代码以代表不同的表面(无论是粗糙的还是光滑的)。他告诉我："经过一个月的实践，这一部分的大脑学会了这种新代码，并开始将我们创造的这一套新的人工代码和不同的质地联系起来。这就是我们可以建立能模仿皮肤感觉的感觉通道的第一个证据。"

我对他说道，这听起来和《星际迷航》里的"全息甲板"（holodeck）很相像，《星际迷航》里的人们可以在虚拟世界里漫步，当你碰到虚拟世界里的东西时会有感觉，好像在现实世界一般。这就是所谓的"触觉技术"（haptic technology），触觉技术用数码技术模拟触碰时所产生的感觉。尼科莱利斯博士回答说："是的，这将首次向世人表明像'全息甲板'一样的东西在未来是可能出现的。"

这种未来的全息甲板可能采用两种技术的结合。第一种技术，全息甲板里的人们应该戴着互联网隐形眼镜，这样一来，无论看任何地方，他们都能看到一个全新的虚拟世界。透过隐形眼镜所看到的景象只要按动某个按钮就会立即发生改变。假如你触碰到这个虚拟世界里的任何东西，传入大脑里的信号会利用脑-机-脑接口（BMBI）技术模仿出触碰感。如此一来，透过隐形眼镜所看到的这个虚拟世界也就变得很逼真了。

脑-脑接口技术不仅使得触觉技术成为可能，同样也让"心灵互联网"或脑联网，也就是大脑到大脑的互动，成为可能。2013年，尼科莱利斯博士完成了《星际迷航》里的一种技术——"心灵融合"（mind meld），即两个大脑间思维的融合。起初他用两组老鼠做实验，一组放在美国杜克大学，另一组放在巴西的纳塔尔市。第一组老鼠学习看到红灯时踩下一个杠杆。第二组老鼠学习当大脑受到通过植入物传来的信号刺激时踩下杠杆。它们踩下杠杆得到的奖励为喝一小口水。接下来，尼科莱利斯博士将两组老鼠的大脑运动皮层通过一根性能良好的电线与互联网连接起来。

当第一组老鼠看到红灯时，信号会通过互联网传输给处在巴西的第二组老鼠，然后第二组老鼠便踩下杠杆。十次实验中有七次，第二组老鼠准确地回应了第一组老鼠传来的信号。这便是信号可以在大脑间传递且得到完全正确的解读。但这同科幻小说里的心灵融合还有天壤之别，所谓心灵融合是指两种思维合二为一，但这一技术仍处于起步水平，而且样本的体积又太小，但是它在原理上说明了脑联网是可能的。

2013年，当科学家们的实验超出动物的范围，开始实施人脑-人脑的直接交流实验，也就是通过互联网实现信息在人脑之间的传递时，便

迈出了重要的下一步。

这一具有里程碑意义的一步是在华盛顿大学取得的，一位科学家将脑电波信号（移动你的右手臂）传输给另一位科学家。第一位科学家戴上脑电图传感头盔，并开始玩视频游戏。游戏里，他设想移动右手臂发射一枚加农炮弹，但他很小心地实际上不移动自己的右手臂。

脑电图传感头盔上的信号通过互联网传输给了另一位科学家，这位科学家头戴经颅磁头盔，这个头盔小心地安放在控制其右手臂的那一部分大脑的上方。当信号传到第二位科学家时，这个头盔会将一段磁脉冲输入其大脑，使得其右手臂不由自主地动起来（右手臂自己动起来）。因此，通过遥控,一个人的大脑可以控制另一个人的活动。

这一新突破为很多可能的技术带来了希望，如通过互联网传递非言语信息。或许有一天，你可以将跳探戈的经历、蹦极的经历、跳伞的经历通过电子邮件寄给他人。不仅仅是体育活动，还有你的情感及感觉都可以通过脑-脑接口技术与他人进行交流。

尼科莱利斯博士预想会有那么一天，全世界的人不是通过键盘来参与社交网络，而是直接通过他们的心灵。人们在脑联网上可以通过“心灵感应”实时交流思想、情感、想法，而不是通过收发电子邮件。如今的电话只能传递谈话信息和对话的语气。视频会议可能要好一点，因为通过视频你可以看到镜头另一端人们的肢体语言。但脑联网将成为通讯的终极形式，通过脑联网，谈话中可包含完整的思想信息，包括情绪、语气上的细微变化及言外之意。通过心灵的交流可以和他人分享自己内心最深处的想法和情感。

完全沉浸式娱乐

研发脑联网对于价值数十亿美元的娱乐产业同样会产生一定影响。回顾20世纪20年代，录音及灯光技术得到了极大提高。技术的进步给娱乐业带来了变革，电影从无声向“有声”过渡。这种将图像和声音相结合的技术在20世纪并未发生太大变化。但在未来，娱乐业或许会发生又一次革命，未来的娱乐业可能将人的所有（五种）感觉，包括嗅觉、味觉、触觉、听觉、视觉，以及全方位的情感都融入影视作品中。心灵感应探测仪或许能处理在人类大脑里流动的所有的感觉和情感，让观众完全融入到故事中。在欣赏爱情片或动作惊悚片时，我们的感觉会完全沉浸在故事情节中，就好像我们切切实实置身在故事里一样，切身体会到演员的所有感觉和情绪。我们能嗅到女主角身上的香水味儿，体会到恐怖电影中受害者内心的无比恐惧，打败坏人后身心畅快的感觉。

但是，完全沉浸式的娱乐体验势必会给电影产业带来剧烈的变革。首先，演员们需要接受专业培训，做到在携带脑电图/磁共振成像传感器和纳米探针（用来记录演员的情感和感觉信息）的情况下，也能将角

色演绎得淋漓尽致。(这一定会给演员增加不小的负担，因为演员需要将五种感觉都演绎出来。就像电影从无声到有声过渡时那样，有的演员无法适应新的变革，但注定会涌现一批有能力将五种感觉演绎出来的新人。)这对于编辑人员的要求也会更高，他们不仅要剪辑影片，还要将各种感觉融入每一个场景。最后，观众坐在椅子上，各种电子信号会涌入其大脑。到了那时候，观众要佩戴的不只是3D眼镜了，而是各种大脑传感器。电影院也需要配备相应设备，对数据进行处理，然后传输给观众。

创建脑联网

创建能够传输此类信息的脑联网并非一蹴而就的，而需要分步实施。首先，要将纳米探针植入大脑的重要部位，如管控语言的左颞叶，管控视觉的枕叶。接下来，计算机需要对信号进行分析，并对其解码。这些信息反过来会通过光缆经因特网传输出去。

比较具有挑战性的环节是将信号传到另一个人的大脑里，大脑里的接收器对输入的信号进行处理。截至目前，这一环节还仅限于海马体，但未来的技术应该能达到将信息直接输入大脑对应听觉、视觉、触觉等官能的各个部分。因此，为了弄清大脑中涉及各种感觉的皮层，科学家们还需继续努力。一旦弄清了这些皮层，比如海马体（我们将在下一章进行讲解），将词语、思想、记忆和经历传给另一个人的大脑就会成为可能。

尼科莱利斯博士这样写道：“人类的子孙后代掌握建立健全的脑联网所需要的所有的技能、技术和道德高度并非遥不可及的，在脑联网这个媒介里，数以亿计的人们可以仅仅依靠思想同其他人取得联系，进行交流。当无数的意识积聚在一起时，那样的场景会是何等壮观，对此目前无人能够预见。”

脑联网和人类文明

脑联网的产生足以改变人类文明进程。每一种新的通讯系统诞生，不可避免地会在社会中产生一定影响，引领人们从一个时代向另一个时代跨越。在史前时代的数千年里，人类的祖先一直过着游牧生活，穿梭在不同部落之间，依靠肢体语言和不能称之为语言的咕噜声交流。语言的诞生使人们能够交流符号和复杂的思想，有了交流便促进村落的产生，再后来便有了城市。在过去的几千年里，文字语言的出现使人们能够积累知识、记录文化，并将它们传给后代， 促进了科技、艺术、建筑和庞大帝国的诞生。电话、收音机、电视机的出现，将人与人的交流扩展到了不同大陆间。如今，互联网将所有的大陆和全世界的人们联系在一起，让行星文明的兴起成为可能。下一步巨大的飞跃便是建立一个连接全球的脑联网，在脑联网里，人们可以全方位地交流感觉、情感、记

忆和思想。

“我们将成为操作系统的一部分”

尼科莱利斯博士接受我的采访时表示，他开始对科学着迷是在孩童的时候，那时他还生活在巴西。他至今还记得那时他观看了“阿波罗号”探月器发射直播，这一事件在当时吸引了整个世界的目光。对于他来说，那是一项了不起的壮举。他告诉我，对于他而言，“登月壮举”就是建立脑联网，让“意念移动一切事物”成为可能。

当他还是个高中生时就对大脑无比着迷，那时他偶然间看到了艾萨克·阿西莫夫在1964年写的《人类的大脑》（The Human Brain）一书。书中没有探讨大脑中的各种组织是怎样相互作用，从而产生心灵这种东西的(因为那时还没人能回答这个问题)。那段时光对他来说足以影响一生，他意识到自己的命运应是努力去了解大脑的奥秘。

大约在10年前，他对我说，他开始认真从事大脑研究是因为孩提时期的梦想。他的职业生涯始于让一种机械设备控制老鼠的实验。他详细地解释道：“我们将传感器植入老鼠头上，传感器能解读老鼠大脑传来的电子信号。然后，我们把这些信号传输给一个能将水从喷泉送进老鼠嘴里的机器杠杆。因此，老鼠不得不积极地学会怎样用意识移动机器杠杆，从而喝到水。这便第一次展示了是人类可以将动物和机器联系起来，从而它能够不动身体就可以操作机器。”

如今，他不只可以分析一只猴子大脑的50个神经元，而是1 000个，大脑神经元可以在猴子身上的不同部位产生不同动作。这样，猴子就能控制不同的设备了，如机械手臂，甚至网络空间里的虚拟形象。尼科莱利斯博士告诉我：“我们建立了一个猴子的虚拟化身，猴子通过意识而不动用任何身体部位就可以控制它。”让猴子观看视频游戏时，它就能在游戏世界里看到自己的化身。通过意识命令自己的身体移动，猴子就能让游戏里的化身按相应的方式运动。

尼科莱利斯博士预想，在不久的未来会有那么一天，我们可以用自己的心灵控制计算机和玩游戏。“我们会成为操作系统的一部分，并会融入我所描述实验的类似机制中。”

外骨骼

尼科莱利斯博士的下一项研究课题是“再行走项目”（Walk Again Project）。该项目的目的是研究出用心灵控制的外骨骼。首先，外骨骼让人不禁联想到电影《钢铁侠》（Iron Man）。实际上，外骨骼是一种能将整个身体包裹起来的特殊外套，这样手脚就可以通过机器进行移动了。他将其称为“穿戴式机器人”（wearable robot）。见图10。



图10　图为尼科莱利斯博士所描述的可以由完全瘫痪病人的意识控制的外骨骼机器人。

尼科莱利斯博士的目标是帮助瘫痪患者“用意识行走”。他打算运用无线技术。他说：“这样一来，穿戴者头上就不会有任何突出物了……我们将对20 000 ~ 30 000个神经元进行记录，下命令给穿在身上的机器人外套，如此一来，穿戴者便能够思考，也能再次行走和抓取物体了。”

尼科莱利斯博士认识到，在实现穿戴式机器人这一目标之前还要克服重重障碍。首先，需要研发出可以一次性安全可靠地植入人大脑里数年之久的新一代微型芯片。其次，需要研发出无线传感器，这样才能保证外骨骼机器人可以自由行走。固定在穿戴者腰带或其他部位的手机般大小的计算机负责接收大脑发出的无线信号。再次，通过计算机解码和编译大脑所传出的信号的新技术一定要跟上。对于猴子而言，控制机械手臂需要数百个神经元。而对于人类，至少需要数千个神经元才能控制

一只胳膊或一条腿。最后，还要有足够的便携式能源供应装置，支撑整个可穿戴机器人的运转。

尼科莱利斯博士还有一个崇高的目标： 用外骨骼机器人为2014年巴西世界杯献礼。他希望在巴西世界杯开幕式上，一个四肢瘫痪病人穿着他研制的外骨骼机器人能够踢出世界杯第一脚。他自豪地告诉我："这是我们巴西人的'登月计划'。"

化身和代理人

在电影《代理人》（Surrogates，又译《未来战警》）中，布鲁斯·威利斯（Bruce Willis）扮演一名调查神秘谋杀案的美国联邦调查局探员。影片中的科学家们研制出了外骨骼机器人，它们太完美了以致超出了人的能力。这些机器人十分强壮，有着壮硕的身体。实际上，由于它们接近完美，人类变得十分依赖于它们。人类终身都生活在辅助箱（pods）里，用意识通过无线技术控制其代理人，机器代理人可以高大帅气，甚或金发碧眼。每到一处，你都能看到"人们"在忙前忙后，不同的是他们是造型完美的机器代理人。而它们年迈的主人总是躲在幕后。然而，就在这里，剧情发生了剧烈转折，布鲁斯·威利斯发现谋杀案背后的真凶可能与研发这些机器人的科学家们脱不了干系。这就引起他的反思：到底机器代理人是福还是祸。

好莱坞大片《阿凡达》（Avatar）讲述的是2154年，人类耗尽了地球上的所有矿产资源。为寻求一种稀有的超导矿石，一家采矿公司远行到位于半人马座阿尔法星系的潘多拉星球。这颗遥远的星球上居住着纳维（Na'vi）族人，他们和物产丰美的自然环境和谐共生。为了和当地人沟通，受过特殊训练的工作人员在辅助箱里学习如何用意识控制通过基因工程培育出来的克隆人，这就是"化身"（avatar）。尽管潘多拉星球的大气含有剧毒，和地球的大气成分截然不同，但化身可以毫无困难地生活在这个外星球上。然而好景不长，当采矿公司在纳维族人的圣树下发现了丰富的超导矿石，这种紧张的关系随即瓦解。采矿公司和土著人之间不可避免地发生了冲突，前者想摧毁圣树，挖掘超导矿石，信仰圣树的后者则要誓死保卫圣树。在这场实力悬殊的冲突中，纳维族人注定会失败。直到有一天，一名受过特殊训练的工作人员改变了立场，和纳维族人并肩作战，领导纳维族人取得了胜利。

无论是化身还是代理人，都是当今科幻小说的故事情节，但或许某一天，它们就会成为科学必不可少的工具。人体太过脆弱，无法完成很多危险的任务，包括太空旅行。尽管科幻小说里充满了宇航员穿越银河系到达其尽头的各种英雄壮举，而现实和小说当然大不相同。宇宙深空的辐射太过强烈，以至于宇航员必须穿上防辐射服，不然受到辐射就会未老先衰，提前衰竭，或得辐射病，也可能致癌。太阳放射出的太阳耀斑对于宇宙飞船来说是致命的辐射。从美国到欧洲这样一次简单的跨大西洋飞行中，每小时你会受到1毫雷姆的辐射，或约等于一次医用X光所

受到的辐射。但在太空飞行中，你受到的辐射量可比这个强烈数倍，特别是遇到宇宙射线和太阳耀斑爆发时。(遇到强烈的太阳风暴时，美国宇航局会事先警告空间站的宇航员，告知他们进入到具有抗辐射屏蔽的地方。)

此外，外太空里还有更多的危险等着我们，如微陨石、长期失重效应，以及需要及时做出调整以适应不同的引力场。只要在失重条件下暴露几个月，人体就会失去大部分钙和矿物质，宇航员就会变得十分虚弱，就算每天运动也无济于事。俄罗斯宇航员在太空中停留了一年后，虚弱无比的他们不得不像只浑身无力的蠕虫爬出太空舱。此外，人们认为部分肌肉和骨骼的损失是永久性的，不可逆转的，因此宇航员在其后半生就会感觉到长期失重所带来的后遗症。

因为微陨石和月球上的强辐射场的危害十分巨大，所有的科学家都建议使用一个巨大的地下洞穴作为永久性探月基地，以起到保护宇航员的作用。这些洞穴是天然熔岩洞形成的，靠近死火山。但在月球建立基地最安全的办法还是让我们的宇航员舒舒服服地坐在地球上自家的卧室里。这样一来他们就可以免受很多月球上的威胁了，他们可以通过“代理人”完成同样的任务。载人航天作业中为宇航员提供安全保障的费用高昂，这一技术可以大大减少载人航天事业的成本。

或许在第一艘行星际飞船抵达某个遥远的行星，当宇航员的代理人踏上这个陌生星球的土地时，他会情不自禁地这样说道：“这是心灵的一小步……”

这一技术运用在航空领域的一个问题是，将信号从月球发送到地球，再从地球返回月球需要一定时间。在超过一秒钟多一点的时间内，一段无线电信号能从地球发往月球， 因此宇航员可以在地球上轻而易举地控制月球上的代理人。 若是在火星上和代理人交流就更困难了，由于一段无线电信号达到火星需要20分钟或者更久。

但代理人有许多实际的作用。2011年的日本福岛核泄漏事故造成了数十亿美元的损失。由于工作人员暴露在核辐射地区内超过几分钟就会有致命危险，因此最后的清理工作可能需要持续40年。不幸的是，在福岛使用的机器人不够先进，所以不能进入受到强辐射地区进行修理工作。实际上，福岛地区使用的机器人并不高端，简直就是轮椅上放着一台电脑，再在电脑上安装一个摄像头。发展成熟的、能够自己思考的机器人(或受远处操作员控制)，同时还能在受过严重辐射地区进行修理工作的机器人，还需要发展几十年才会出现。

工业机器人的缺失同样给发生在1986年的苏联切尔诺贝利（乌克兰境内）核泄漏事故造成了严重问题。工人们被直接派到事故现场进行灭火，由于致命的核辐射，他们都死得很惨烈。最后，戈尔巴乔夫命令空军空降5 000吨硼酸盐处理过的沙和水泥，试图将核反应堆封起来。核辐射的强度十分高，因此苏联招募了25万人来控制事故态势。但每名工

作人员只在核反应堆所处的大楼里待几分钟，进行修理工作。很多人受到了人的一生所能受到的辐射量的最高界限。每名勇士都得到了勋章，以资鼓励。这是一项人类历史上十分伟大的工程。现今的机器人都不可能完成这项任务。

实际上，本田汽车公司曾建造过一种能进入强辐射环境的机器人，但目前技术还尚不成熟。本田汽车公司的科学家们将脑电图传感器放置在一名工作人员的头上，该传感器和一台负责分析脑电波的计算机连在一起。计算机再和一台负责给机器人传输信号的收音机连在一起，这一设备被称为阿西莫（ASIMO，意即“在创新移动中领先一步”)。因此，只要改变自己的脑电波，工作人员就能通过意识控制阿西莫机器人了。

不幸的是，这种机器人目前还没有修复福岛核电站的能力，因为它目前只能完成几种基本运动（所有动作都只是移动其头部和肩部)，然而一座破坏殆尽的核电站的修复工作需要几百种动作才能完成。这个系统还不够成熟，甚至连像拧螺丝或挥锤都无法完成。

其他团队也在积极探索用意识控制机器人的技术。在华盛顿大学，拉杰什·拉奥（Rajesh Rao）博士研发了一种类似机器人，只要人们头戴脑电图传感头盔就能控制这种机器人。这种新颖的仿人机器人只有2英尺（**0.61**米）高，名曰摩尔甫斯(Morpheus，该名源于电影《黑客帝国》，又译《矩阵》，希腊神话中的梦神)。一名学生在头上戴了一个脑电图传感头盔，然后做了几个手势，如动一动手指，这一动作产生的脑电图信号被一台计算机记录了下来了。最后这台计算机便能够建立起一个脑电图信号库，每一个信号对应一种手脚的运动方式。接下来，无论脑电图信号是否传过来，机器人都会按系统移动手臂。 如此，只要你想移动手臂，机器人摩尔甫斯就会移动手臂。当你第一次戴上脑电图头盔时，计算机需要大约10分钟对你的大脑信号进行校正。最终你就可以掌握用大脑想想动作就能控制机器人的技巧。例如，你可以让它朝你走过来，拿起桌上的木板，然后朝另一张桌子走去，把木板放在那儿。

类似的研究在欧洲也取得了长足进步。2012年， 瑞士洛桑联邦理工学院的科学家揭晓了他们的最新研究成果，这是一台脑电图传感器意识可控机器人，其控制者位于6英里（**9.66**公里）之外。这种机器人很像许多人家现在用的“伦巴”（Roomba）机器人真空吸尘器。但事实上这是一种配备有摄像头的高科技机器人，它能在拥挤的办公室里穿梭。例如，瘫痪病人只要看着与数英里之外的机器人的摄像头相连的电脑屏幕，透过屏幕和机器人的眼睛对视。接下来要做的就是动动脑子，病人只要动动脑就能控制机器人的运动，引导它越过障碍物。

未来，最危险的工作可以通过这种以人的意识控制机器人技术，让机器人去完成。尼科莱利斯博士这样说：“未来我们很有可能通过遥控大使或使节，即形态各异和大小不一的机器人或太空飞船探索宇宙遥远角落的行星和恒星。”

例如，2010年，500万桶原油灾难性地泄入墨西哥湾吸引了全球的目光。“深水地平线”（The Deepwater Horizon）公司的石油泄漏事件是人类历史上最严重的原油泄漏灾难，无数工程师在数月里几乎束手无策。遥控机器人潜水艇挣扎了好几个星期，全力想要封堵住油井，但缺乏灵活的多功能机器人则无法完成这项水下任务。若我们能有具备更高灵敏性的且能运用工具的机器人潜水艇，在泄漏事故发生的最初几天内就可以轻而易举地封堵住油井，价值数十亿美元的损失和之后的法律诉讼就不会发生。

还有一种可能性是未来的代理机器人可以进入人体，在人体内实施精细复杂的手术。这一想法源自拉蔻儿·薇芝（Raquel Welch）主演的电影《神奇旅程》（Fantastic Voyage）。电影中，被缩小到血细胞大小的代理机器人被注射进患大脑血凝块病人的血液中。尽管原子缩小违背了量子物理学理论，但有一天，细胞大小的微电子机械系统(MEMS，micro-electrical-mechanical systems) 或许能进入人体的血液中。微电子机械系统是很小的机械设备，只有针尖那么大。它运用“硅谷”采用的可以将数百个晶体管集成在指甲大小的薄片上的蚀刻技术。一个配有齿轮、杠杆、滑轮的机器可以做成比本句末端的句号还小许多。或许有一天，人们能头戴心灵感应头盔，通过无线技术命令微电子机械系统（MEMS）机器人在病人体内做手术。

因此，基于可进入人体的微型机器技术，微电子机械系统技术会在医学领域开辟一块崭新的天地。微电子机械系统（MEMS）机器人或许还能在纳米探针进入大脑时对其实施引导，让纳米探针精确地连接到相关的神经元。如此，纳米探针便可接受并传递特定行为所涉及到的众多神经元信号。将电极植入大脑的那种试探的做法将会被淘汰。

展望未来

总而言之，全球各个角落的实验室所取得的了不起的成就，将会减轻瘫痪和残疾带给人们的痛苦。通过运用心灵的力量，病人们可以和挚爱的人进行交流，可以控制轮椅和床，用意识控制机械腿行走，操作家用电器，从此过上半正常人的生活。

但从长远看， 这些进步对未来世界有着深远的经济和实际意义。到了21世纪中叶，通过心灵直接与计算机进行交流将成为一门普及技术。计算机产业是一个价值无限的产业，许多年轻人一夜之间成了亿万富翁，许多企业也在一夜之间暴富起来，心灵-计算机接口技术将会在华尔街乃至你的家里，都会产生巨大反响。

我们用来和计算机进行交流的所有设备（鼠标、键盘等）或许都会渐渐消失。未来，我们也许只需在内心下达指令或愿望，隐藏在环境中的微型芯片就会悄无声息地去执行。当我们坐在办公室里、在公园里散步时、逛商店或休息时，我们的意识就已经完成了和许多隐藏起来的芯

片交流的活动，如此一来，在悄无声息中，我们就可以通过意识完成缴费、购买电影票或订餐等多种事宜。

艺术家们也可以利用这种技术。如果他们能够在脑海中想象出自己的作品，那么作品就能通过脑电图传感器以3D形式在全息屏上展示出来。由于脑海里的图像并不如原作那么精准，艺术家还可以在3D 图像上进行修改，并构思下一幅图像。经过几次修改，艺术家就可以将最终画作用3D 打印机打印出来了。

类似地，工程师们利用自己的想象力可以不费吹灰之力就能建出桥梁、隧道、机场的缩微模型。他们也可以单纯依靠思想迅速对图纸进行修改。有了这一技术，机器零件便能飞出计算机屏幕，进入3D 打印机里。

然而有批评家声称，这种心灵感应技术存在一大短板: 能量的不足。在影视作品中，超人能用意识移动大山。在电影《X战警：背水一战》（X-Men: The Last Stand）中, 超级恶棍万磁王（Magneto）只需动动手指就能够移动金门大桥,但凡人平均只能使出五分之一的马力，这么一点点力量又怎能像漫画书里的人物一样完成超级壮举呢。因此，所有这些力大无比的心灵感应壮举只是纯幻想罢了。

然而，对于此般能量问题有一个解决办法。人们可以将思想连接到某种可以将人的力量放大数百万倍的能源上。如此一来，人们就可以拥有神一样的力量了。《星际迷航》有一个场面，船员们航行到了一个遥远的行星上，在那儿遇到了一个拥有神一般力量的生物，他自称阿波罗（希腊神话中的太阳神）。他能施展魔法迷晕船员。他甚至声称在永世之前曾去过地球，那时的地球人都对他无比崇拜。但船员们都不信神，认为这是个骗局。后来他们才了解到，这位所谓的“神”只不过是用其意识控制着一种神秘的能量源，其实是这一神秘力量在操作所有把戏。当这种神秘的能源被摧毁后，他也只不过凡人一个。

同样地，未来人们的心灵或许也能控制某种能够给予我们无限力量的能量源。例如，建筑工人可以用意识让某一能量源给重型机械提供充足动力。这样一来，只需一个工人通过心灵的力量就能建造一幢大楼了。所有重物的抬举都由这个能量源完成,而建筑工人相当于一个指挥者，只需依靠思想就能操控千斤重的起重机和推土机。

科技还用另一种方式追赶科幻小说。《星际迷航》的传说发生在人类文明扩张到整个银河系的时候。那时，银河系的和平与秩序由绝地武士（Jedi Knights）维持，他们是接受过严格训练的武士领袖，能够利用“原力”解读人的心灵，并能挥舞光剑。

然而，我们不用等到人类将整个银河系都变成殖民地时才能利用“原力”。正如我们所见，有的“原力”今天就已将成为可能，如我们可以通过皮层脑电图电极或脑电图头盔解读他人的思想。但当我们学会怎样用意

识控制某种能量源的时候，绝地武士的心灵感应神力或许也能成为可能。打个比方，绝地武士轻轻招招手就能召唤他们的光剑，但我们通过利用磁力已经能够做到相同效果(就好像磁共振成像仪里的磁力能够让锤子在房间里滚动一样) 。用意念启动能量源，靠当今的科技水平人们也能抓住房间那头的光剑。

天神之力

心灵致动（telekinesis）通常是一种天神或超级英雄才有的能力。在好莱坞大片的超级英雄出没的宇宙里，应属菲妮克斯（Phoenix）的力量最强大，她是一位具有心灵致动能力的女子，能靠其意念移动任何事物。作为X战警的一员， 她能凭借意念之力举起笨重的机器、击退山洪、将飞机送上天。(然而，在她彻底被其能力的黑暗面吞噬前,她继续宇宙中的狂暴行为，她能够烧毁整个太阳系，摧毁所有星辰。她的力量变得无比巨大和不可控制，最终只能走向自我毁灭的深渊。)

但现代科技能多大程度地利用心灵致动能力呢？

未来， 就算我们拥有能够将我们思想的力量扩大数倍的外来能量源，我们也不可能用心灵致动能力移动诸如铅笔或咖啡杯之类的最基本的东西。正如我们所说的那样， 主宰宇宙的只有四种力， 没有外力的作用，任何一种力都不能将物体移动。(磁力很接近我们的要求,但磁力只能移动有磁性的物体。塑料、水、木头做成的物体很容易从磁场经过。)魔术师所表演的悬浮术可不是科学能够达到的能力。

因此，即使有外力支撑，具有心灵致动能力的人也不能随意移动身边的物体。然而，有一种技术十分接近我们的要求，但需要将一种物体变成另一种物体。

这种技术叫做“可编程物质”，这种技术是英特尔集团全力以赴研究的目标。研究可编程物质背后的想法是研发一种由极小的“电子黏土原子”（catoms）构成的物体，也就是一种微型计算机芯片。每个电子黏土原子可以通过无线技术进行控制；通过编程，电子黏土原子的表面电荷可以被改变，如此一来，它就可以和其他电子黏土原子捆绑在一起了。通过将电荷进行编程，电子黏土原子可以积聚在一起形成一个物体（如手机）。轻轻一按按钮，将其程序改变，电子黏土原子又能重新组合，形成另一个物体，如笔记本电脑。

我曾在匹兹堡的卡内基梅隆大学见识过这种技术，那儿的科学家研发出针头那么大的芯片。为检验这些电子黏土原子，我得穿上特制的白色制服、塑料靴和帽子（防止细小微粒进入房间）进入一间“无菌房”, 接下来, 透过显微镜, 我可以看到每个电子黏土原子里的微小电路, 有了这些电路，电子黏土原子才能通过无线技术改变程序，从而改变其表面电荷。我们也可以用这种方式对软件进行编程，或许在未来，我们可以

对硬件进行编程。

接下来要做的是看看电子黏土原子是否能形成其他物体，以及看看是否可以通过意识将它们改变成其他物体。或许要到本世纪中叶才能研制出这种“可编程物质”技术的雏形。由于对数十亿个电子黏土原子进行编程是个十分复杂的过程，我们需要创造一种特殊的计算机，来协调每个电子黏土原子表面的电荷。或许在本世纪末，人们可以通过意识控制这种计算机，这样一来，我们就能将一种物体变成另一种物体了。我们大可不必记住每个物体内部的电荷及构造。我们要做的就只是向计算机发出意识指令，让一种物体变成另一种物体。

最终，我们或许可以列出一份所有可编程物体的清单， 如家具、家电和电子产品。通过与计算机进行心灵感应交流，我们就可以将一种物体变成另一种物体。翻新你的房子、重装厨房、购买圣诞礼物等等活儿都可以靠意识完成。

道德寓言

只有神仙才能让所有的梦想都成为现实。然而，这种神力也有它的弊端。所有科技都可用来谋福祉，也可以做坏事。归根结底，科技是一把双刃剑。一方面它能祛除贫困、疾病和无知。但另一方面，科技也可以给人们带来灾难。

这些科技可以使战争变得更加危险。或许有一天， 战争的双方会是佩戴各种高科技武器的代理人在战场上厮杀。而真正的战士则坐在千里之外，他们可以使用各种尖端武器而不用考虑战争会给平民造成附带伤害。尽管让代理人参加战争可以保护士兵的生命，但战争也可能给老百姓及其财产造成巨大损失。

另一问题是这种力量可能太强大，普通人难以控制。小说《魔女嘉莉》（Carrie）中，斯蒂芬·金（Stephen King）探索一个经常被同伴嘲笑的女孩的内心世界。她总是受到同伴排挤，她的生活总是充满无尽的侮辱和欺凌。然而，欺负她的人并不知道，其实她具有心灵致动能力。

一次舞会上，备受欺负后，鲜血洒满她的裙子，她终于暴怒了。她召唤了所有的通灵神力捉住了她所有同学，将她们逐一制服。最后，她决定将学校付诸一炬。但最终她却在火海中丧生。

这种巨大的神力不仅可能起到适得其反的作用，它还存在其他问题。听上去可能有些讽刺，如果它过于顺从于你的思想和命令，它很有可能将你摧毁，即使你做好所有运用这种力量的防御措施。这样一来，你的所思所想就很有可能将你引向末日。

电影《禁忌星球》(1956，又译《紫禁星》）改编自莎翁的剧作《暴风雨》（The Tempest），这部剧的剧情以一位巫师和他的女儿被困在

一座荒岛上渐渐展开叙述。但是在《禁忌星球》，故事从一位教授及其女儿被困在一个遥远的星球展开剧情，这个行星是“克雷尔”（Krell）文明的发源地，这种文明先进于人类文明数百万年。克雷尔人最大的成就是创造了一种能够给予他们终极心灵致动能力的设备，这种能力可以控制以任何形式存在的意识。任何他们想要得到的事物都会成为现实。这是一种可以根据他们的意愿重塑现实的超能力。

然而，就在他们就要迎来最大胜利的前夕，克雷尔文明却在他们开启设备的那一刹那便消失得毫无踪影。到底是什么东西摧毁了如此高度发达的文明呢？

当一个地球人来到这个星球援救教授及其女儿时，他们发现这个星球存在一种能通过意识杀戮飞行员的可怕怪兽。最后，一位飞行员发现了克雷尔文明和怪兽背后的秘密。临死时，这个飞行员留下一句话：“怪兽来自‘本我’。”

教授慢慢弄清了这一惊人的真相。克雷尔人开启心灵致动机的那一夜，他们睡着了。所有来自克雷尔人本我的欲望被突然释放出来，并迅速得以实现。长期埋藏在这些高度文明生物潜意识的正是古老过往的原始欲望和贪欲。所有的幻想、所有复仇的愿望瞬间成真，因而一夜之间，这样一个高度发达的文明就毁于一旦。他们一度攻无不克，战无不胜，但有一件事他们无法控制：自己的潜意识。

对于那些渴望尽情释放心灵之力量的人们来说，这便是一个教训。在心灵中，你能发现人类最伟大的成就和人类的思想之美。但你也会从本我中发现魔鬼的影子。

改变我们的面目:我们的记忆和智力

目前为止，　我们探讨了科学的力量，通过心灵感应和心灵致动来扩大人类的心力。但我们从本质上说还是保持着自我；我们所取得的进步并没有改变我们的本质。然而，我们已经打开了一片能够改变人类本质的全新领域。运用最新的遗传学、电磁学及药物疗法,我们有可能在不久的未来拥有改变记忆，甚至增强智慧的能力。下载记忆、一夜之间学会复杂的技能、变得像天才一般聪明等这些想法，渐渐地将不再局限于科幻小说的范畴。

没有了记忆，我们将迷失自我，漂浮在没有目标的汪洋大海中，无法了解自己和自己的过去。因此，当有一天我们能将记忆植入大脑会发生什么呢？当我们通过下载文件，并将其植入大脑就能轻松掌握所有学科时又会发生什么呢？ 当我们无法分清记忆的真假，无法分清我们是谁时，将会发生什么呢？

科学家们努力地将人类从过去作为大自然的被动观察者，向大自然的主动塑造者转变。这就意味着我们可能会拥有操纵记忆、思想、智慧

和意识的能力。未来的我们很可能拥有指挥心灵的能力，而不再是简单地观察心灵机制之微妙。

现在就让我们来回答这个问题：人类能够下载记忆吗？

5　可定制的记忆和思想

即使我们的大脑十分简单，容易理解，我们也还没有足够的智力去理解它。

——佚名

尼奥是救世主。只有他能带领落魄的人类战胜机械人。只有尼奥能打败黑客帝国，他在我们的大脑中植入虚假记忆，以此手段来控制我们。

保卫黑客帝国的邪恶特工最后把尼奥逼到角落，这已经成为电影《黑客帝国》中的经典一幕。似乎，人类最后的希望即将破灭。但在此之前，尼奥的脖颈上植入了电极，可以即时把武术技能下载到大脑中。只用了几秒钟，尼奥就变成了跆拳道大师，用令人窒息的飞腿和精准的拳击把特工打倒。

在《黑客帝国》中，可以简单地在大脑中植入电极，然后按动“下载”按钮，就能学会跆拳道黑带高手的精湛技艺。也许有一天，我们也能下载记忆，这可以大大提升我们的能力。

但是，如果我们下载到大脑的记忆是虚假的，这时会发生什么呢？在电影《全面回忆》（Total Recall）中，阿诺德·施瓦辛格（Arnold Schwarzenegger）的大脑中被植入了虚假记忆，使他分不清现实和虚幻。在电影的最后，他在火星上勇敢地与坏人作战，但他突然发现自己就是这群坏人的领袖，而在记忆中自己却是守法的普通公民，这些记忆全是虚构的，这使他感到震惊。

好莱坞电影喜欢采用这些令人着迷而又虚幻的人工记忆的故事。当然，在今天的技术条件下这些都不可能实现。但我们可以预见到，有一天，也许在几十年后，人工记忆真的能够植入人的大脑。

我们怎样记忆

与菲尼亚斯·盖奇（Phineas Gage）的病例一样，亨利·古斯塔夫·莫莱森（Henry Gustav Molaison，在科学界被简称为HM）的病例在神经学界也引起了轰动。在认识海马体对记忆生成的作用方面，由该病例得到了许多根本性的突破。

9岁时，HM（亨莫）在一次事故中头部受到损伤，造成虚弱性痉挛。他于1953年25岁时作了手术，成功地缓解了这种症状。但医生错误

地切除了部分海马体，从而引发了另外一个问题。最初，HM看起来十分正常，但很快人们发现他出了大问题：他不能保持新记忆。他总是生活在当下，一天多次用同样的话语与相同的人打招呼，就好像他第一次见到这些人一样。任何事情在他的记忆中只能保持几分钟，然后就消失了。与电影《土拨鼠日》（Groundhog Day）中的比尔·默里（Bill Murray）一样，HM只能不断重复相同的一天，一次又一次，直到他的生命终结。但与比尔·默里的角色不同，HM无法回忆起之前不断重复的事情。不过，他的长期记忆相对完整，能够记起手术前的生活。但由于缺少能够发挥作用的海马体，HM无法记录下新的经历。比如，当他照镜子时，他会感到恐惧，因为他看到了一个老人，但在他的记忆中自己只有25岁。值得庆幸的是，这种恐惧的记忆也会很快消失得无影无踪。在某种意义上，HM与只有II级意识的动物相似，它们都无法回忆起刚刚过去的事情，也无法模拟未来。由于缺少功能完好的海马体，他从III级意识下降到了II级意识。

今天，神经科学的进步已经清楚地告诉我们，记忆如何形成，如何保存，然后如何调取。哈佛大学神经科学家斯蒂芬·科斯林（Stephen Kosslyn）博士说:“这一切都在过去几年内得以解开，这要归功于两类科技的进步：计算机技术和现代大脑扫描技术。”

我们知道，感官信息（例如，视觉、触觉和味觉）首先必须通过脑干到达丘脑，丘脑的作用近似于中继站，它把信号送到大脑中的不同感官脑叶，在那里这些信号得到评估。被加工后的信息传输到前额叶皮层，由此进入我们的意识，形成我们所说的短期记忆，这大约要几秒钟到几分钟。（见图11。）

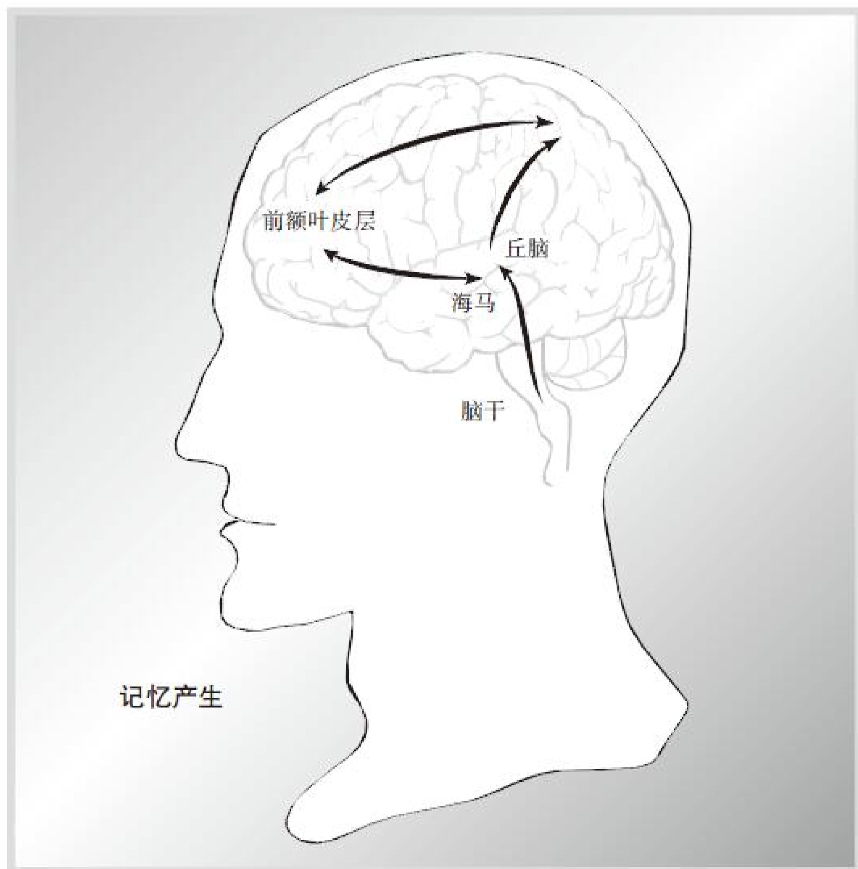


图11　记忆生成的路径：感官得到的脉冲经过脑干，到达丘脑，然后输送到各个皮层，最后到达前额叶皮层。最后，这些信息传送到海马体，形成长期记忆。

这些记忆要储存较长时间还须通过海马体，在那里被分门别类。海马体把这些记忆片段分送到各个皮层，而非像录音机或硬盘那样把所有信息储存在同一区域。（这种储存记忆的方式事实上要比序列储存更为有效。如果人类记忆以序列的方式储存，就像电脑储存那样，那么就需要大量的记忆储存空间。实际上，未来的数字储存系统也很可能采取人类大脑的储存方式，而非序列化地储存信息。）例如，情感记忆储存在杏仁核，而词汇储存在颞叶。此外，颜色以及其他视觉信息由枕叶收集，触觉和运动感觉坐落在顶叶。到目前为止，科学家已经识别出20多种记忆，分别储存在大脑的不同部位，这包括水果和蔬菜、植物、动物、身体各部位、颜色、数字、字母、名词、动词、专有名词、人脸、脸部表情和不同的情感以及声音。

单个记忆，比如在公园中的一次散步，就包含被分解为不同种类的信息，储存在大脑的不同部位，但只要再现这个记忆的一个方面（例如，刚刚割过的青草味道）就能使大脑立即把所有记忆片段汇集起来，

构成一个完整的回忆。所以，记忆研究的最终目标是解答当我们回忆某一个经历时，这些分散的记忆片段如何重新集合在一起。这被称为“整合问题”（binding problem，又称“捆绑问题”），对这个问题的回答可以解释有关记忆的很多难题。例如，安东尼奥·达马西奥（Antonio Damasio）博士分析了一些中风患者，他们无法识别某一种记忆，虽然他们能够回忆起所有其他事情。这是因为，中风只影响大脑的某一特定区域，而这个区域就是该类记忆储存的地方。

我们的记忆和经历都十分个人化，这使得整合问题更为复杂。记忆可能是因人而异的，所以一个人的记忆种类可能与另一个人的记忆种类并无关联。例如，品酒师可能对于各种味道的细微差异有着很多种记忆，而物理学家可能对某些方程又有着其他种类的记忆。这些种类毕竟是经验的副产品，不同的人因此会有不同的记忆种类。

解决整合问题的一种新方法是利用整个大脑中的电磁往复振动振荡，这种振动每秒钟大约发生40次，脑电波扫描可以捕捉这种信号。记忆片段能够以非常准确的频率发生振动，并刺激储存在大脑另外一个地方的记忆片段。之前，人们认为记忆储存在彼此相近的地方，但这种新理论告诉我们，记忆并非通过物理方式连接，而是通过时间的方式连接：它们一同发生振动。如果这个理论是正确的，这就意味着整个大脑在不断进行电磁振动，它把大脑的不同区域连接起来，通过这种方法重构整个记忆。因此，海马体、前额叶皮层、丘脑以及不同皮层之间的信息流可能并不是通过神经的。有些信息流可能以共振的方式连接不同大脑区域。

记录记忆

不幸的是，HM（亨莫）在2008年去世了，享年82岁，这时科学仍未能带来可以给他提供便利的震惊世界的发现：我们无法制造出人工海马体，然后把记忆植入他的大脑。这些东西近乎科学幻想，但维克森林大学和南加州大学的科学家们在2011年创造了历史，他们记录下老鼠的记忆，并把它转换为数字形式储存在电脑里。这是一种原理性证明实验，他们的工作表明，下载记忆的梦想有一天也许会成为现实。

最初，把记忆下载到大脑中的想法本身看起来都近乎痴人说梦，因为我们看到，记忆的产生涉及对不同感觉经验的加工，然后储存在位于新皮层和边缘系统的多个区域。但我们从HM的病例中看到，所有记忆都要经过同一区域，才能转化为长期记忆，这就是海马体。这个研究小组的带头人，南加州大学的西奥多·伯杰（Theodore Berger）博士说：“如果我们无法从海马体中得到答案，那么从其他地方肯定也无法得到答案。”

维克森林大学和南加州大学的科学家们首先对大脑扫描数据进行观察，他们发现在老鼠的海马体中至少有两组神经元，分别称为CA1（海

马1）区和CA3（海马3）区，在老鼠学会新技能时它们之间发生信息交换。科学家们训练老鼠按顺序按下两个键，然后可以喝到水，他们研究了相关发现，并试图解开其中的信息。但最初的结果令人迷惑，因为这两组神经元之间的信号似乎没有规律可循。但在监测这些信号上百万次之后，他们最终明确了哪些电输入对应哪些电输出。他们在老鼠海马体中植入探针，以此记录下老鼠学会依次按下按键时CA1区和CA3区之间的信号。

之后，科学家为老鼠注射了一种特殊的化学品，使老鼠忘记已经学会的技能。最后，他们把记录下的记忆重新植入同一只老鼠的大脑。令人惊奇的是，有关这项技能的记忆又恢复了，这只老鼠可以成功地实施原先的技能。从本质上讲，他们制造了一个具有复制数字记忆能力的人工海马体。伯杰博士说："打开开关，动物就能获得记忆；关上它，记忆就消失了。这是非常重要的一步，因为把所有片段整合在一起，这还是第一次。"

美海军作战部对这项研究提供了资助。作战部部长办公室的乔尔·戴维斯（Joel Davies）说："用植入的方法增强人的能力，这种技术已经上路了。实现它只是时间问题。"

由于重任在肩，这个研究领域的发展十分迅速，这毫不奇怪。2013年，又出现了另外一项突破，这次是在麻省理工学院。科学家们不仅实现了在老鼠的大脑中植入普通记忆，而且实现了植入虚假记忆。这意味着，有一天，有关未发生过的事件的记忆也可以植入人的大脑，这对教育和娱乐等领域来说有着深刻的影响。

麻省理工学院的科学家使用了一种叫做光遗传学的技术（我们会在第8章继续讨论这项技术），它可以对特定的神经元进行照射，使其激活。利用这种强大的技术，科学家能够识别出对特定记忆而言是哪些特定的神经元在起作用。

比如说，一只老鼠进入房间，然后被电击。我们可以分离出承受这个痛苦记忆的神经元，并通过分析海马体把它记录下来。然后，把这只老鼠放进一间完全不同的房间里，它在那里绝对安全。打开光源照射在光纤维上，我们就可以用光遗传学技术激活那次电击的记忆，老鼠会做出恐惧的表现，而这个房间却是完全安全的。

麻省理工学院的科学家用这种方法不仅实现了植入普通记忆，而且可以植入从未发生过的事件的记忆。将来有一天，负责教学的人可以用这项技术训练工人，把有关新技能的记忆植入他们的大脑，而好莱坞也可以开发出完全不同的娱乐形式。

人工海马体

目前，人工海马体还处在原始阶段，每次只能记录下单个记忆。但

这些科学家计划提升人工海马体的复杂性，使其能够储存多种记忆，可以应用于不同动物，最后达到可以记录猴子的记忆。他们还计划把这项技术无线化，用微弱的无线电取代导线，这样就能遥控下载记忆，而不必把笨重的电极植入大脑。

由于海马体关系到人类记忆处理的方方面面，科学家们认为，人工海马体在治疗中风、痴呆、阿尔茨海默氏症，以及其他一系列涉及大脑该区域损伤或恶化的症状方面有非常大的潜力。

当然，要实现这一点还要越过很多障碍。虽然自HM的病例以来我们对海马体有了许多了解，但它仍然像一个黑匣子，它的内部工作机理基本上还不为人所知。因此，我们无法从零开始建构记忆，只能在完成处理与一项任务相关记忆之后，把这个记忆记录下来，然后进行重现。

未来的方向

研究灵长类动物，尤其是人类的海马体会更加困难，因为他们的海马体更大更复杂。第一步是绘制精细的海马体神经图。这需要把电极放到海马体的各个部位，记录下不同区域间不断交换的信号。这样，我们就能构建在海马体中连续运行的信息流。海马体主要包括四个部分，从CA1～CA4（海马1区至海马4区），科学家必须记录下在它们之间进行交换的信号。

第二步是让受试者执行某种任务，然后由科学家记录下在海马体各区域流过的脉冲，从而记录下记忆。例如学习某项技能的记忆，比如从一个铁环中间跳过，会在海马体中引起电活动，我们可以记录下这种活动，并对它进行细致地分析。然后，我们就能得到一部何种记忆对应何种海马体信息流的辞典。

最后是翻录这个记忆，把这种电信号通过电极传递给另一个受试者的海马体，以观察这个记忆是否上传成功。受试者可以用这种方式学会从铁环中跳过，虽然它自己之前并没有这么做过。如果成功，科学家就会逐渐建立起包含各种具体记忆副本的图书馆。

最终过渡到人类记忆的研究可能要几十年的时间，但我们可以预见那时会是怎样一种情景。未来，我们可能会专门聘请一些人为我们制造某种记忆，比如一个奢侈的假期或一场虚构的战争；可能会把纳米电极植入大脑的不同部位，以记录记忆。这些电极一定十分微小，它们不会影响记忆的合成。

从这些电极中输出的信息会通过无线的方式发送到计算机，并进行储存。之后，希望获得这些记忆的受试者可以把同样的电极植入他自己的海马体，这样这个记忆就植入了他的大脑中。

（当然，这个想法还有其复杂之处。如果我们要植入的是有关身体

活动的记忆，比如武术，那么我们就要面对“肌肉记忆”的问题。举例来说，我们走路时，我们不会有意识地去思考先迈哪条腿。由于我们经常走路，而且从小就开始走路，它已经成了我们的第二天性。这说明，控制腿走路的信号可能并非完全来自海马体，还有可能来自运动皮层、小脑和基底神经节。未来，如果我们希望植入有关运动的记忆，科学家还要研究记忆用什么方式存储在大脑的其他部位。）

视觉与人类记忆

记忆的合成是十分复杂的事，但我们所讨论的方法采用了一种捷径：监听海马体中流过的信号，而感觉的脉冲信号已经在海马体中得到处理。但在《黑客帝国》中，记忆可以从脑后的电极直接上传到大脑中。这意味着，我们能够破译由眼睛、耳朵、皮肤等器官直接得到的原始的、未经处理的脉冲信号，这些信号由脊髓和脑干传递到丘脑。这比分析海马体中已被处理过的信息要复杂得多，困难得多。

为了理解从脊髓传到丘脑的未经处理的信息量，我们只需考察视觉一个方面，因为我们的很多记忆都以这种形式编码。人眼睛的视网膜上大约有1.3亿个细胞，分别为视锥细胞和视杆细胞。这两种细胞实时处理和记录来自周围世界的1亿位（Bits，即比特）的信息。

如此巨量的数据被收集之后，先传送到视觉神经，然后传送到丘脑，每秒传输900万位（Bits）。数据由丘脑再到达位于大脑后部的枕叶。这个视觉皮层执行艰巨的数据分析任务，它包含多个位于脑后部的部位，每一个都专门负责一项特定的技能。这些部位分别标记为V1～V8。

值得注意的是，被称为V1（初级视皮层）的区域就像屏幕一样，它能够在大脑后部建立起与原始图像十分相似的图像。这个图像有着与原始图像令人吃惊的相似度，不过眼睛的中心，即眼凹，在V1中占据的面积更大（因为眼凹所包含的神经元最为集中）。因此，在V1上呈现的图像并不是图景的精确复制，而是发生了扭曲，图像的中心部分占据了大部分空间。

除V1外，枕叶的其他区域分别处理图像的不同内容，这包括：

· 立体视觉。神经元比对每只眼所获得的图像。这在V2区（纹外皮层2区）完成。

· 距离。神经元利用阴影以及眼睛获得的其他信息计算与物体的距离。这在V3区（纹外皮层3区）完成。

· V4区（纹外皮层4区）处理颜色。

· 运动。不同的回路可以接收不同的运动信号，包括直线、螺旋和扩展运动。这在V5区（纹外皮层5区）完成。

对于视觉，人们已经识别出30多种不同的神经回路，但很可能还有很多。

信息从枕叶传送到前额叶皮层，这时你就能完全“看到”图像，并形成短期记忆。接着，信息传送到海马体，在那里得到处理，并储存最长24小时。之后，这个记忆被分解，分布到不同的皮层去储存。

这个例子的意义在于，我们认为毫不费力的视觉事实上需要几十亿个神经元按照顺序释放，每秒传输几百万位（Bits）的信息。而且，别忘了我们从5个感觉器官接收信号，而且每种信息都伴随着情感。这些信息都要在海马体得到处理，才能构建对一个图像的简单记忆。目前，没有任何一种机器能够达到如此复杂的程度，所以，复制这一过程对于那些想制造人类大脑的人工海马体的科学家来说是一个巨大的挑战。

记忆未来

如果仅对一个感官的记忆进行编码都涉及如此复杂的过程，那么我们是如何进化出用长期记忆储存大量信息的能力呢？[3]在大多数情况下，动物的行为受本能的控制，这似乎用不到长期记忆。但正如加利福尼亚大学欧文（尔湾）分校的神经生物学家詹姆斯·麦高（James McGaugh）博士所说：“记忆的目的是为了预测未来。”这个说法引出了一种很有意思的可能性。也许，进化出长期记忆是因为它有助于模拟未来。换句话说，我们之所以能记住久远的过去，是出于模拟未来的需要，是为了获得模拟未来所带来的好处。

的确，华盛顿大学的科学家所进行的大脑扫描表明，唤起记忆所用到的大脑区域与模拟未来的大脑区域相同。具体而言，在一个人规划未来事件以及回忆过去时，背外侧前额叶皮层和海马体之间的连接都同时点亮。在某种意义上，大脑是在试图“回忆未来”，在关于过去的记忆的基础上，确定未来事件的演变进程。这也可以解释失忆症患者（如HM）的有关现象：他们通常无法预想自己在未来的行为，甚至下一天的行为都无法预见。

华盛顿大学的凯思琳·麦克德莫特（Kathleen McDermott）博士说：“你可以把它看成一种心灵上的时间旅行——把有关我们自己的思想投射到过去或投射到未来。”她还说道，这项研究是“对于记忆在进化中的作用的一个尝试性解答，这个问题长期以来一直没有解决。我们能够生动精细地回忆起过去的原因，可能是这个过程对于我们预想未来情境下的自己十分重要。这种预见未来的能力在人类适应环境方面有着明显的意义”。对于动物而言，记忆过去基本上是一种宝贵资源的浪费，因为

它们几乎没有从中获得什么好处。然而，对于人类而言，在过去的教训的基础上模拟未来是人类进化出智能的重要原因。

人工皮层

2012年，维克森林大学浸信会医学中心和南加州大学，制造了老鼠人工海马体的科学家公布了一项更具深远意义的实验。这一次，他们不是记录老鼠海马体中的记忆，而是复制了灵长动物更为复杂精密的大脑皮层的思维过程。

他们用了5只猕猴，把微小的电极插入猴子的L2/3和L5这两层皮层中，然后，记录下猴子学习技能时这两层之间交换的神经信号。（这个技能是让猴子看一组图画，如果猴子能从很多图画中找出之前看到的图画，就给予奖励。）经过训练，这些猴子完成这项任务的成功率达到75%。但在进行这项实验时，如果科学家把记录下的信号重新输入进猴子的大脑皮层，它们的表现就会提升10%；而当猴子沉湎于某种化学物质，会使它们的表现下降20%。如果把记录下的信号传入皮层，它们的表现超过了普通水平。虽然这里用到的样本容量很小，而且表现上的提升也很微弱，但这项研究仍然说明，科学家所作的记录准确地把握了皮层的决策机制。

由于这项研究用的是灵长类动物，而非老鼠，研究的是皮层，而非海马体，因此它对于针对人类的实验有着重要的意义。维克森林大学的山姆·A.戴德维勒（Sam A. Deadwyler）博士说："整个研究的想法是，这个设备会得到某种输出模式，可以绕开受损区域，从而成为大脑中的另一种连接路径。"这个实验对于新皮层受损的病人可能有用：这个设备可以完成受损区域的思维功能，就像拐杖的作用一样。

人工小脑

还应该指出，人工海马体和人工新皮层只是第一步。最后，我们还会制造出大脑的其他部位的人工配对物。例如，以色列特拉维夫大学的科学家已经为一只老鼠制造出人工小脑。小脑是爬行动物大脑中不可缺少的部分，控制我们的平衡和其他基本身体功能的关键部位。

通常，对着老鼠的脸喷出一股气流，它会眨眼。与此同时，如果有声响，我们就可以训练这只老鼠听到这种声响时就会做出眨眼的反应。以色列科学家的任务就是要制造出可以完成这项任务的人工小脑。

首先，科学家们记录下老鼠感受到气流并听到声音时进入脑干的信号。然后，处理这些信号，把信号发送到脑干的另一个部位。与预期相同，这些老鼠在接收到信号时做出了眨眼的反应。这不仅是科学家第一次制造出功能完好的人工小脑，而且是人工小脑第一次从大脑的一个部位接收信息，然后处理，最后上传到大脑的另一个部位。

埃塞克斯大学的弗朗西斯科·塞普尔维达（Francesco Sepulveda）在评论这项工作时说道："这项研究说明，我们在制造大脑回路以替代受损大脑区域方面，甚至用人工回路提升健康大脑的能力方面，已经取得了多大进展。"

他还看到未来人工大脑的巨大潜力，他补充道："我们距离这个目标可能还要几十年，但我猜测在本世纪结束之前，我们就可以制造出像海马体或视觉皮层这样结构清晰的人工合成大脑部位。"

鉴于整个研究的复杂性，我们在制造人工大脑方面所取得的快速进步是令人瞩目的，但这仍然是一场与时间的赛跑，因为我们的公共卫生体系面临着巨大的威胁，同时，老年痴呆症患者的神经功能在日渐衰退。

老年痴呆症：记忆的破坏者

有人认为老年痴呆症（阿尔茨海默氏疾病）可能是世纪之病。目前有530万美国人患有老年痴呆症，预计这个数字到2050年会达到目前的4倍。在65~74岁的人群中，有5%患有该症，而在85岁以上人群中，超过50%的人患有该症，而他们并没有表现出明显的致病因素。（1900年时，美国人的平均寿命是49岁，那时老年痴呆症并不是很严重的问题。但现在，80岁以上人群已经是美国人口结构中增长最快的群体。）

早期老年痴呆症中，大脑中负责处理记忆的海马体开始衰退。大脑扫描的确表明，老年痴呆症患者的海马体发生萎缩，同时，前额叶皮层与海马体之间的连接也开始变弱，使得大脑无法恰当处理短期记忆。分布在大脑各个皮层的长期记忆相对来说没有受到影响，至少最初是这样。这就产生了这样的情况：你可能记不起几分钟之前刚刚做过的事，但却能清楚地回忆起几十年前发生的事。

最后，病情会进一步发展，直至最基本的长期记忆也遭到破坏。患者无法认出自己的儿女或配偶，也不知道自己是谁，甚至会进入昏迷性的植物人状态。

不幸的是，人们最近才刚刚开始认识到老年痴呆症的基本机理。2012年这方面取得重大突破，研究显示，老年痴呆症的形成源于τ淀粉样蛋白质的合成，而这种蛋白质会加速β淀粉样蛋白质的合成。β淀粉样蛋白质是一种黏稠的胶状物质，会堵塞大脑。（之前，人们并不清楚老年痴呆症是不是由这些斑块造成的，也不清楚这些斑块是不是一种更具本质性的病症的副产品。）

很难用药物对这些淀粉样蛋白质斑块进行针对性治疗，因为它们很可能由"朊病毒"（prions）构成，朊病毒是一种畸形的感染性蛋白质分子。虽然朊病毒不是细菌，也不是病毒，但它们具有自我复制的特性。从原子的角度看，一个蛋白质分子就像由多个布满原子的条带连接在一

起组成的杂草丛。这些杂乱的原子正确地折叠才能把蛋白质固定为合适的形状，发挥恰当的功能。朊病毒就是发生错误折叠的畸变蛋白质。更为糟糕的是，当它们撞入正常蛋白质中时，它们也会使这些蛋白质的折叠发生异常。因此，一个朊病毒会产生一大片畸变的蛋白质，从而催生链式反应，使几十亿个蛋白质受到侵害。

目前，还没有方法抑制老年痴呆症的持续恶化。然而，既然人们正在解开老年痴呆症的基本机理，那么很有希望的一种方法就是制造出专门针对这些畸变蛋白质分子的抗体或疫苗。另外一种方法是为患者提供人工海马体，这样就能恢复他们的短期记忆。

还有一种方法，我们可以采用基因工程直接提升大脑制造记忆的能力。也许，有些基因可以提升我们的记忆力。记忆研究的未来可能在“智能老鼠”之中。

智能老鼠

1999年，约瑟夫·钱（Joseph Tsien）博士与来自普林斯顿大学、麻省理工学院和华盛顿大学的同事们发现，给老鼠增加一个额外基因会极大地提升老鼠的记忆力和能力。这些“智能老鼠”可以更快地走出迷宫，更好地记住事件，在各种各样的测试中都比其他老鼠表现得更好。人们把这些老鼠称为“老鼠杜奇”（Doogie mice），名字取自电视剧《天才小医生》（Doogie Howser, M.D.）中一个早熟的人物，杜奇·豪斯。

钱博士先分析了NR2B基因，它像开关一样控制着大脑把事件关联起来的能力。（科学家们知道这一点，是因为在老鼠身上，当这个基因受到压制或无效时，老鼠就失去了这种关联事件的能力。）所有学习都取决于NR2B基因，因为它控制着海马体中记忆细胞之间的交流。钱博士首先培育了一种缺少NR2B基因的老鼠，它们表现出记忆损伤和学习障碍。之后，他培育出另一种老鼠，它们比正常老鼠携带的NR2B基因要多。他发现这批新老鼠有着出众的智力。把老鼠放到盛满水的浅盘中，迫使它们游泳时，普通老鼠会到处乱游，它们忘记了几天前水下藏有一个平底。然而，智能老鼠第一次就直接找到了藏在水下的平底。

之后，研究者在其他实验中确认了这些结果，并且培育出更智能的老鼠。2009年，钱博士发表了一篇论文，宣布培育出另外一种智能老鼠，称为“哈卜杰”（Hobbie-J，名字取自中国卡通人物）。哈卜杰对新事物的记忆比之前的转基因智能老鼠要长3倍。钱博士说：“这印证了NR2B基因作为记忆合成统一开关的想法。”研究生王德恒（Deheng Wang）说：“这就像把迈克尔·乔丹变成超级迈克尔·乔丹。”

不过，即便这种新的老鼠品种其记忆也有其极限。要这些老鼠向左转或向右转以获得巧克力作为奖励时，它们能够记下正确路径，保持记忆的时间要比普通老鼠长得多，但5分钟过后，这些老鼠也会遗忘。钱

博士说："我们无法把它变成一位数学家。毕竟，它们只是老鼠。"

也应指出，这些智能老鼠品种中有一些比起普通老鼠来十分胆小。有些人猜测，随着记忆力变得太强，你也会记住所有失败和痛苦，这会使你犹豫不前。所以，记住太多东西也有潜在的不好的一面。

作为下一步，科学家希望能把这个研究结果推广到狗，因为它与人类有着很多共同的基因。最后，也许会推广到人。

智能果蝇和笨老鼠

科学家对记忆基因的研究并不只限于NR2B一个基因。在另外一系列具有开创性的实验中，科学家培育出一种果蝇和一种老鼠，其中果蝇拥有"照相式记忆"，而老鼠具有失忆症。这些实验最后可能会解开有关我们长期记忆的很多奥秘，比如，为什么考试前突击学习不是很好的学习方法，为什么我们会记住饱含着我们情感的事件。科学家已经发现两个十分重要的基因：CREB活化基因（刺激神经元之间新连接的合成）和CREB抑制基因（抑制新记忆的形成）。

冷泉港实验室的杰瑞·殷（Jerry Yin）博士和蒂莫西·塔利（Timothy Tully）博士一直在用果蝇做很有趣的实验。要使果蝇学会一种技能（例如，识别一种气味，躲避一次攻击）一般要进行10次尝试。额外携带CREB抑制基因的果蝇根本无法形成持续性记忆，但真正令人惊叹的是额外携带CREB活化基因的果蝇。它们只要一次就能学会一项技能。塔利博士说："这说明这些果蝇拥有过目不忘的能力。"他认为，这些果蝇就像一类学生，他们可以"把一本书的某一章读一遍，就把内容印在脑子里，然后告诉你答案在274页第3段"。

这个效果不仅限于果蝇。冷泉港实验室的阿尔西诺·席尔瓦（Alcino Silva）博士用老鼠做实验，他发现CREB活化基因有缺陷的老鼠基本上无法形成长期记忆，它们都得了失忆症。但即便是这些老鼠，如果对它们进行短课时的训练，中间让它们休息的话，也能学得一些东西。科学家提出理论，认为大脑中存在固定量的CREB活化基因，它限制了我们在给定时间内能够学到的知识的量。如果我们在考试前突击学习，我们会很快用完CREB活化基因，除非我们休息一下，让CREB活化基因恢复，否则我们将无法再继续学习。

塔利博士说："我们现在可以从生物学上解答为什么突击学习没有用。"准备考试的最好方法是每天定期在大脑中复习学过的内容，直到这些内容成为长期记忆的一部分。

这还能解释为什么饱含情感的记忆如此逼真，可以持续数十年。CREB抑制基因就像一个过滤器，能够过滤掉无用的信息。但如果一个记忆与强烈的情感相关联，那么它就能去除CREB抑制基因，或者提升CREB活化基因的水平。

我们可以期望，将来在记忆基因的基础研究方面会有更多突破。形成大脑的巨大能力所需的基因可能不是一个，而是一种复杂的基因组合。人类基因图谱上也会有与这些基因相对应的基因，因此，这清楚地预示着我们也可以用基因控制的方法提升自己的记忆和大脑能力。

不过，不要认为你很快就能提升大脑能力。还有很多障碍等待跨越。第一，我们不清楚这些研究结果是否能适用于人类。很多时候，对老鼠有用的疗法并不能很好地应用到人类身上。第二，即使这些结果对人类适用，我们并不知道它们会带来怎样的影响。例如，这些基因可能会改善我们的记忆力，但不会改变我们的整体智力。第三，基因疗法（即，修复破损基因）比先前设想的要困难得多。能用这种方法治疗的基因疾病非常少。即使科学家使用无害的病毒把“好”基因传染给细胞，人体还是会产生抗体攻击这些侵入者，这常常会使治疗无效。植入基因提升记忆力可能会有同样的遭遇。（另外，几年前一位病人在宾夕法尼亚大学接受基因治疗时死亡，这使基因治疗领域遭到重大挫败。因此，修改人类基因的工作面临着很多道德问题，甚至是法律问题。）

因此，对人类试验的进展要比动物试验慢得多。然而，我们还是能预见到有一天这种疗法可以得到完善，成为现实。用这种方法改变我们的基因只需在手臂上打上一针，这样，一个无害的病毒就会进入血液，进而感染正常的细胞，把基因注射其中。这种“智能基因”一旦成功地融合到我们的细胞中，就会活跃起来，释放出影响海马体和记忆合成的蛋白质，提升我们的记忆力和认知能力。

如果植入基因太过困难，还有另外一种方法，即把合适的蛋白质直接注入到人体中，这就绕过了基因疗法。我们不用打针，只要吃片药就行了。

智力药片

这项研究的最终目的之一是制造出可以提升注意力，改善记忆，甚至是增强智力的“智力药片”。制药公司已经在试验几种似乎具有增强大脑功能的药物，如MEM　1003（记忆**1003**）和MEM　1414（记忆**1414**）。

科学家在动物实验中发现，长期记忆与酶和基因之间的相互作用有关。当学习开始，某些特定基因(如CREB基因)被激活时，它们释放出相应的蛋白质，一些神经通路由此得到加强。基本上，在大脑中循环的CREB蛋白质越多，长期记忆形成的速度越快。这个结果在对海洋软体动物、果蝇和老鼠的实验中得到印证。MEM　1414的主要属性是，它能够加速CREB蛋白质（环磷腺苷效应元件结合蛋白）的产生。在实验室试验中，年龄较大的动物服用MEM　1414之后其长期记忆的形成要明显快过控制组。

另外，科学家们已经开始着手研究形成长期记忆所涉及的准确生物化学基础，这既包括基因层面，也包括分子层面。一旦记忆形成的过程完全为人们所了解，我们就可以设计一些方法加速或加强这个关键的过程。不仅老年人和老年痴呆症患者会从这种“大脑增强”中获益，最终普通人也能从中获益。

记忆能删除吗？

老年痴呆症可以不分青红皂白地破坏记忆，如果想有选择地删除记忆，这可能吗？失忆症是好莱坞惯用的情节之一。在电影《谍影重重》（The Bourne Identity）中，老练的中央情报局特工杰森·伯恩（Jason Bourne，由马特·达蒙［Matt Damon］饰演）被发现漂浮在水池里，奄奄一息。他苏醒过来时发现自己严重失忆。在电影中，不断有杀手企图杀死他，但他不知道自己是谁，发生了什么事，也不知道他们为什么要杀他。唯一的线索是，他拥有不可思议的打斗能力，就像秘密特工一样。

有很多记录表明，遭受创伤（比如头部遭到击打）时会偶然诱发失忆症。但记忆能选择性地删除吗？在金·凯利（Jim Carrey）主演的电影《美丽心灵的永恒阳光》（Eternal Sunshine of the Spotless Mind）中，两个人在火车上偶遇，进而相恋。然而，他们十分惊讶地发现，他俩事实上在多年前就是恋人，但却失去了相关记忆。后来，他们才知道，他俩是在一次激烈的争吵之后花钱让一家公司抹去了彼此的记忆。显然，命运又给了他们一次相爱的机会。

电影《黑衣人》（Men in Black）把选择性失忆上升到全新的高度，其中威尔·史密斯（Will Smith）饰演由神秘组织领导的特工，这个组织使用“中和剂”（neuralizer）有选择地删除那些令人头疼的有关遭遇UFO和外星人的记忆。电影中甚至有一个按钮来控制要删除多少记忆。

这些故事都带来了刺激的情节和不错的票房收益，但这些真的可能吗？甚或在将来可能实现吗？

我们知道，失忆本身是可能的，这主要包括两种类型，取决于是短期记忆受到影响，还是长期记忆受到影响。已经存在的记忆消失症状被称为“逆行性遗忘症”，在大脑受到某种创伤或损伤时会发生，通常在造成遗忘的事件之前形成的记忆会消失。杰森·伯恩特工的情况与此类似，他漂浮在水中，奄奄一息，记不起之前的事情。在这种情况下，海马体仍然完好，因此，虽然长期记忆受到破坏，但仍能形成新记忆。短期记忆遭到破坏的症状被称为“顺行性遗忘症”，在造成遗忘的事件之后，患者很难形成新记忆。一般情况下，海马体损伤所导致的失忆症会持续几分钟到数小时。（电影《记忆碎片》（Memento）刻画了顺行性遗忘症。其中的主人公一心为死去的妻子报仇，但问题是，他的记忆只能持续15分钟，所以他不断用纸条、照片，甚至是文身来记录信息，以使自

己回忆起他所找到的有关凶手的线索。通过艰难地分析这些信息，他可以积累重要证据，否则，他马上就会忘记。）

这里的问题是，失忆总是以创伤或疾病为起点，这使得好莱坞电影中的选择性失忆显得很不现实。像《黑衣人》这样的电影假定记忆以序列的方式储存，就像一个硬盘，这样你就能确定某个时刻，然后按下“删除”按钮。然而，我们知道记忆事实上是被打乱的，不同的片段储存在大脑的不同部位。

健忘药物

与此同时，科学家在研制某些药物以删除不断困扰我们的创伤性记忆。2009年，以梅雷尔·金特（Merel Kindt）博士为首的荷兰科学家宣布，他们找到了普萘洛尔（心得安）这种旧药的新功用，即这种药可以奇迹般地缓解创伤性记忆所带来的疼痛。这项研究宣称，这种药并非引起自某一时刻起的失忆，但它的确能使疼痛更易于控制，而发挥功效只要三天。

由于遭受“创伤后应激障碍症”（PTSD）的患者成千上万，这一发现成为争相报道的对象。从经历过战争的战士，到性虐待的受害者，再到严重事故的伤残者，他们每个人都看到了从自己的症状中得到解脱的希望。然而，这似乎明显违反了大脑研究的结果——长期记忆并非以电的形式编码，而是存在于蛋白质分子层面。不过，最近的实验说明，回忆既需要调用记忆，也需要随后重组，因此，在这个过程中蛋白质结构可能真的会被重新排列。换句话说，进行一次回忆事实上会改变这个记忆。这也许是上述药物起作用的原因：我们知道普萘洛尔会影响肾上腺素的吸收，而肾上腺素是经常由创伤性事件形成的长期、生动记忆的关键成分。加州大学欧文分校的詹姆斯·麦高（James McGaugh）博士说：“普萘洛尔会压制神经细胞，阻断它的行进。所以，肾上腺素可能存在，但它不会发挥作用。”换言之，没有肾上腺素，记忆就发生消退。

对有创伤记忆的个人进行的验证实验得出了非常有希望的结果。但这种药物遇到了删除记忆所涉及的道德问题。一些道德人士并不怀疑这种药的功效，但他们对于健忘药物这种想法本身持否定态度，因为记忆的存在是有目的的：让我们吸取人生的经验。他们认为，即使不愉快的记忆也在服务于某种宏大的旨意。这种药物遭到了美国总统生物伦理委员会的反对。他们在报告中总结道：“把我们对苦难的记忆变得迟钝会使我们在这个世界上太过闲适，而对苦难、罪恶或残暴无动于衷……我们能对人生的痛苦麻木不仁，而对人类的快乐也变得无动于衷吗？”

斯坦福大学生物医药道德中心的戴维·马古斯（David Magus）博士说：“我们的分手，我们的关系，即便很痛苦，也会使我们从中受益。这些痛苦的经历使我们成为更完善的人。”

也有人不同意这一点。哈佛大学的罗杰·皮特曼（Roger Pitman）博士说，如果医生看到一位处于极度痛苦中的事故伤者，“我们是否因可能会抹去他的所有情感经历，而不给他止痛的吗啡呢？谁会辩驳这一点呢？为什么精神疾病就应该不同？我想，在这种论点的背后潜在着一种观念，即精神疾病与生理疾病不同。”

这场争论最终如何解决，可能会直接关系到下一代药物，因为这里所涉及的不仅仅是普萘洛尔这一种药物。

2008年，两个独立的研究团队通过动物实验宣称，有些药物真的可以删除记忆，而不是仅仅控制记忆所带来的疼痛。乔治亚医学院的钱卓（Joe Tsien）博士和他的同事在上海宣布，他们可以用一种被称为CaMKII的蛋白质（钙调节蛋白激酶II）删除老鼠的记忆，而在布鲁克林的纽约州立大学南部医学中心的科学家发现，PKMzeta（多肽抑制蛋白激酶）分子也可以删除记忆。参与第二个研究的安德烈·芬森（Andre Fenson）博士说：“如果进一步的研究可以证实这个观点，我们就可以期待将来有一天会出现以PKMzeta记忆删除为基础的疗法。”这种药物不仅可以删除痛苦的记忆，也“会在治疗抑郁、焦虑、恐惧症、创伤后应激障碍和沉溺症方面发挥作用”。他补充道。

目前的研究还只限于动物，但对于人的试验会马上开始。如果这个研究可以从动物推广到人类，那么健忘药片就有了实际的可能性。不过这种药片会不同于我们在好莱坞电影中看到的那种药片（可以方便地在某个精确时刻引起失忆），但它在现实世界中对那些被创伤记忆困扰的人来说仍有广阔的医学应用。不过，这种删除记忆的方法对于人类记忆会表现出怎样的选择性还不得而知。

哪里可能出错？

也许有一天，我们会细致地记录下所有经过海马体、丘脑和边缘系统其他部位的信号，得到一个精确的信号副本。然后，我们可以把这种信息输入到大脑中，这样就能体验另一个人所经历的一切。现在的问题是：哪里可能出错？

事实上，1983年娜塔莉·伍德（Natalie Wood）所主演的电影《头脑风暴》（Brainstorm）已经探讨了这个主题。在电影中，科学家制造出“神帽”，这是一种布满电极的头盔，可以完整地记录下一个人所经历的全部知觉情感。一个人可以通过输入大脑信息而拥有另一人的感觉经验。出于好玩，一个人在做爱时戴上了“神帽”，记录下当时的经验，然后把磁带放到一种装置中放大了这个经验。当另外一个人在不知情的情况下把这个经验输入进自己的大脑时，他几乎因为超负荷而死。还有一个科学家出现严重的心脏病，在她去世之前，她把自己的最后时刻记录下来。当另外一个人把这个死亡磁带输入进自己大脑时，他突然心脏病发作去世了。

有关这部神奇机器的消息泄露后，军方想得到掌控权。这引起了军方和科学家之间的权利争夺，军方把它看作一种强大的武器，科学家想用它来揭开心灵的奥秘。

《头脑风暴》预言般地探求了这项技术所带来的希望，并且讨论了它的潜在危险。它虽然是科幻故事，但一些科学家相信，在未来这些问题可能会成为头版新闻标题，也可能出现在法庭中。

之前，我们看到人类在记录老鼠形成的单个记忆方面取得了很有前景的进展。也许要到本世纪中叶，我们才能比较可靠地记录灵长类动物和人类的各种记忆。但制造出“神帽”需要记录进入大脑的所有刺激，需要挖掘经脊髓进入丘脑的原始感觉数据。要完成这一点也许要到本世纪末。

社会和法律问题

下面这个困境可能会在我们的有生之年出现。一方面，我们也许可以到达这样一个阶段：通过简单的技能上传就能学会微积分。这样，教育体系会被颠覆，老师就可以不用花更多的时间监督学生，而是对那些不太以技能为基础的认知领域，以及不能通过上传学会的认知领域给予一对一的指导。利用这种方法，成为职业医生、律师或科学家所必需的那些死记硬背也会大大减少。

在理论上，它甚至还能给我们从未经历过的记忆、从未经历过的假期、从未赢得的大奖、从未爱过的情人，以及从未拥有的家庭。它能弥补缺憾，制造出未知人生的完整记忆。家长也会喜欢这种东西，因为他们可以用真实的记忆教育孩子。人们将会对这种设备有巨大的需求。一些道德人士担心，这些虚假的记忆太过逼真，使我们宁愿选择生活在想象的人生中，而不愿过真实的生活。

失业人员也会从中受益，他们可以植入记忆，快速地学会为市场所需的技能。历史上的每次技术革新都会使上百万工人落后于时代，他们通常没有任何生活保障。正是这个原因，我们现在已经很难看到铁匠或制造马车的手工艺人。自动机器以及其他产业工人取代了他们。但重新培训需要大量时间和精力。如果技能可以植入大脑中，世界经济体系会受到直接影响，因为我们不必再浪费这么多人力资源。（在某种程度上，如果记忆可以上传到人脑中，一项技能的价值就会降低，但这一点会得到弥补，因为熟练工人的数量和质量都会得到极大提升。）

旅游业也会得到巨大的推动。学习新的风俗以及用外语交流是出境旅游的一个障碍。人们可以直接获得旅行者所分享的外国生活经历，而不必绞尽脑汁掌握当地的货币体系和交通路径。（虽然上传包含上万个单词和习惯表达的整个语言会有些困难，但上传进行比较顺畅的交谈所需的足够信息是可以做到的。）

这种记忆磁带也必然会与社交媒体发生关系。未来，你也许可以录下自己的记忆，然后上传到互联网，供上百万人体验。之前，我们讨论了脑联网，我们可以通过它传输思想。但如果记忆可以记录下来，可以制造出来，那么你就可以通过脑联网传输自己的完整经历。如果你刚刚赢得奥运会金牌，为什么不把这个记忆放到网上，让大众分享胜利带给自己的痛苦和喜悦呢？或许，这个经历会发生病毒式的扩散，会有几十亿人分享你当时的荣耀。（那些经常坐在电脑前打游戏、参与社交媒体的孩子们，他们会养成记录难忘经历，然后上传到互联网的习惯。就像用手机拍照一样，记录整个记忆也会成为他们的习惯。这需要在发出者和接收者的海马体上植入小到无法看清的纳米导线。信息通过无线技术传到服务器上，由服务器把这些信息转化为可由互联网传输的数字信号。这样，你可以在博客、论坛、社交媒体和聊天室中上传自己的记忆和情感，而不必上传图片和视频了。）

灵魂图书馆

人们也许会希望拥有记忆家谱。我们在前人的档案中只能看到有关他们生活的一维景象。在整个人类历史中，人们生活，相爱，死亡，却无法留下有关自己存在的任何实质性的记录。在多数情况下，我们只知道亲属的生卒日期，而对生与死之间的故事知之甚少。今天，我们留下了一长串电子档案（信用卡收据、账单、电子邮件、银行对账单等）。在默认的情形下，网络成了我们所有生活资料的储藏地，但这还是无法提供有关我们思想或感情的信息。也许在遥远的未来，网络这座浩瀚的图书馆不仅会储存我们生活的编年史，还会记载我们的意识。

未来，人们可以例行公事般地记录下自己的记忆，供子孙分享自己的经历。在家族记忆图书馆中，你不仅会看到他们的生活，而且能真切地感受，还能体会你自己在一个更大的格局中的位置。

这意味着每个人都可以在我们死去很久之后重放我们的生活，只要按下“播放”按钮就行了。如果这个预想得以实现，我们也许就可以“召唤”出自己的先人与自己进行午后闲谈，而我们要做的仅仅是把一张光碟插入图书馆，然后按下按钮。

另外，如果你想体验自己最喜欢的历史人物的人生经历，你可以真切地看到他们在面对重大人生危机时的所思所想。如果你有一个榜样，你想知道他们是怎样从人生失意中走出来的，你可以体验他们的记忆磁带，获得宝贵的启迪。你会看到伟大发现是如何做出的，或者，拥有伟大政治家进行关键决策改变世界历史时的记忆。

米格尔·尼科莱利斯（Miguel Nicolelis）博士相信，这一切有一天都会成真。他说：“这些永生的记录都会像稀有的珍珠一样得到崇拜，每一个人都是几十亿曾经生活过、爱过、痛苦过、辉煌过的独一无二的心灵中的一个。他们也会不朽，但并非由于冷寂的墓碑，而是由于逼真的思

想、热烈活过的生活以及共同经受的苦难的再现。”

科技的阴暗面

有些科学家在考虑这种技术的道德含义。几乎所有医学新发现在刚刚出现时都引起了道德上的忧虑。有些发现在被证实有害后遭到限制或禁止（如睡眠药物萨立多胺［镇静药］，它会造成新生儿先天性缺陷）。有些发现取得了成功，改变了我们对自己的认识，比如试管婴儿。1978年，第一个试管婴儿路易斯·布朗（Louise Brown）的出生引起了媒体的极大关注，甚至连教皇都发出声明，批评这种技术。但今天，也许你的兄弟姐妹、子女、配偶或你自己都有可能是人工授精的产物。像许多技术一样，公众最后会习惯于记录和分享记忆的观念。

另外一些生物伦理学家有着不同的忧虑。有人未经我们允许就把他人的记忆植入我们的大脑会怎样呢？如果这些记忆是痛苦的或有破坏性，会怎样呢？抑或，一些老年痴呆症患者，他们具备接受记忆植入的资格，但病得太重没有能力正式准许别人这么做，又会怎样呢？

已故的牛津大学哲学家伯纳德·威廉姆斯（Bernard Williams）担心这样的设备可能会打乱事物的自然秩序，这个秩序就是遗忘。他说：“遗忘是我们所拥有的最有益处的过程。”

如果记忆可以像上传电脑文件一样植入我们的大脑，这也会动摇法律体系的基石。正义的支柱之一是目击者叙述，但如果目击者被植入虚假的记忆会怎样呢？同样，如果可以制造出犯罪的记忆，那么这种记忆就有可能被秘密地植入到无辜人的大脑中。或者，如果一个罪犯需要不在场的证据，他会秘密地把记忆植入另外一个人的大脑，使他相信当罪案发生时，他们两个人在一起。另外，不仅口头证言值得怀疑，法律文件也值得怀疑，因为当我们签署宣誓书和法律文件时，我们总是凭自己的记忆来说明什么是真，什么是假的。

必须引入防范机制。需要制定法律，清晰地界定准许调用记忆以及禁止调用记忆的条款。正如某些法律限制警察或第三方进入你的家庭，人们也会制定法律防止有人未经允许进入你的记忆。还应该找出办法标记那些虚假的记忆，使人能够区分出来。这样，一个人既能享受美好假期的愉快记忆，但他也知道这个经历从未发生。

记忆的录制、储存和上传也许可以使我们记录过去，掌握新的技能。但这一切并不能改变我们消化、处理这些信息的内在能力。要做到这一点，我们需要提升自己的智力。这方面的进展遇到了困难，因为人们对于什么是智力并没有统一的定义。然而，有一个天才，他的智力无可辩驳，他就是阿尔伯特·爱因斯坦。令人惊叹的是，他去世60年后，他的大脑仍然在给我们提供许多关于智力本质的宝贵线索。

有些科学家认为，我们也许可以综合使用电磁、基因和药物疗法把

一个人的智力提升到天才水平。他们举例说，有记载说明，大脑意外损伤会使某个仅具有普通能力的人突然成为“特才”，特才的智力和艺术能力超出常人。有些意外事故会引发这种现象，但当科学家介入其中，研究这个过程的奥秘时，又会发现什么呢？

6　爱因斯坦的大脑与智力提升

头脑比天空辽阔

因为，把它们放在一起

一个能包含另一个

轻易地，还能容下你。

——艾米莉·狄金森（**Emily Dickinson**）

天赋可以达成无人企及的目标。

天才可以达成无人看到的目标。

——亚瑟·叔本华（**Arthur Schopenhauer**）

阿尔伯特·爱因斯坦的大脑丢失了。

或者严格地说，它至少丢失了50年。爱因斯坦在1955年去世后不久，一位医生偷走了他的大脑，最后这位医生的后代在2010年把这个大脑捐给了美国国家健康医学博物馆。对这个大脑的分析会有助于解答以下问题：什么是天才？怎样测量智力，怎样衡量人一生中智力与成功之间的关系？这里还包括哲学性的问题：天才是基因造就的吗？或者，它是否更应该被看作是个人的奋斗和成就？

最后，爱因斯坦的大脑还会有助于解答这个关键问题：我们可以提升自己的智力吗？

“爱因斯坦”这个单词不再是指称某个具体人的专有名词。现在，它的意思就是“天才”。这个名词所唤起的形象（宽松的袋形裤、蓬乱的花白头发、憔悴的面容）也具有相应的符号意义，可以立即被认出。

爱因斯坦留给我们的遗产非常多。2011年，一些科学家认为爱因斯坦可能错了，粒子可以打破光速壁垒，这件事在物理学界造成了强烈的争议，甚至占据了大众传媒的版面。作为现代物理学基石的相对论可能是错的，这个想法本身都会使全世界的物理学家频频摇头。正如大家所预期的，当研究结果被重新校正之后，爱因斯坦再一次被证明是正确的。反对爱因斯坦总是危险的。

要回答“什么是天才”这个问题，一种方法就是分析爱因斯坦的大脑。为爱因斯坦进行尸检的普林斯顿医院医生托马斯·哈维（Thomas Harvey）博士，显然是由于一时之意决定秘密保存这个大脑，这个决定未经爱因斯坦家庭的同意，也违背了他们的意愿。

也许，他这么做是出于一种模糊的想法，有一天，这个大脑可以解开天才的奥秘。也许，像很多人一样，他认为爱因斯坦的大脑中有一个特殊的部位是他强大智力的所在。布赖恩·伯勒尔（Brian Burrell）在《来自大脑博物馆的明信片》（Postcards from the Brain Museum）一书中猜测，也许哈维医生“被面前的伟大惊呆了，陷入了一时的混乱。但他很快发现自己所做的事是不可原谅的”。

在此之后，爱因斯坦的大脑所遇到的波折更像是一部喜剧，而非科学故事。很多年来，哈维博士都信誓旦旦地要发表自己研究这个大脑的成果。但他不是大脑方面的专家，而且一直寻找借口拖延。几十年来，这个大脑被储存在啤酒冷库中，由两个装在酒盒中的玻璃罐盛放，玻璃罐中盛满了甲醛。他让一位技术员把大脑切成了240片，在极少的情况下，他会把其中一些切片寄给要进行研究的科学家。有一次，他用蛋黄酱罐子把一些切片寄给了伯克利的科学家。

40年后，哈维博士开着他的别克云雀轿车，穿过全国，载着装有爱因斯坦大脑的塑料罐子，期望把它归还给爱因斯坦的孙女伊芙琳（Evelyn）。她拒绝接受。哈维博士于2007年去世后，他的后代承担了把这些大脑切片恰当地捐赠给科学界的责任。这个离奇的故事被拍成了电视记录片。

（应该指出，爱因斯坦的大脑并不是唯一一个得到保存的大脑。在一百年前，数学界最伟大的天才之一，经常被誉为数学王子的卡尔·弗里德里希·高斯［Carl Friedrich Gauss］，他的大脑也为一位医生所保存。但在那时，大脑解剖术基本上还处在原始状态，无法得出任何结论，但人们发现，他大脑中的沟回非常多。）

人们也许会认为爱因斯坦的大脑远远超出普通人的大脑，认为它的容量会非常大，某些部位也许会异常地大。但事实却与此相反（它比普通大脑要稍小些）。从整体而言，爱因斯坦的大脑相当普通。如果一位神经学家并不知道这是爱因斯坦的大脑，他很可能会把它放到一旁，置之不理。

在爱因斯坦的大脑中所找到的奇异之处微乎其微。在大脑中有一个叫角回的地方，他的这个部位比普通大脑要大。另外，两个半球的下顶叶区域也比平均值大15%。值得注意的是，这些区域都涉及到抽象思维、书写和数学等符号的操作以及视觉空间处理。但他的大脑仍属正常，所以，我们并不清楚爱因斯坦的天才是来自他大脑的组织结构，还是来自他的人格、他的视野，还是来自那个时代。在我写的爱因斯坦传记《爱因斯坦的宇宙》中，我提出他的某些人生特征与其大脑的奇特之

处同样重要。也许，爱因斯坦自己的表述最为恰当："我并无特异的天才……我只是过分的好奇。"事实上，爱因斯坦坦承他自己在年轻时数学很糟糕。他曾经对一群小学生说："不管你们在数学上遇到的困难有多大，我所遇到的困难要比你们还大。"那么，是什么促使爱因斯坦成为爱因斯坦的呢？

首先，爱因斯坦把自己的大部分时间都用在思考上，进行"思想实验"。他是一位理论物理学家，不是一位实验物理学家，所以，他总是在头脑中不断进行着各种对未来的复杂模拟。换句话说，他的实验室在他的头脑里。

其次，我们知道他在近10年甚至更多的时间里只进行一个思想实验。从16岁到26岁，他一直关注光的问题，想知道我们是否能够比光束跑得更快。这最后促成了狭义相对论的诞生，而狭义相对论最后解开了恒星的奥秘，给我们带来了原子弹。从26岁到36岁，他一直关注引力理论，最后带来了黑洞理论和宇宙大爆炸理论。然后，从36岁至其生命终结，他试图找到关于万物的理论，把物理学统一起来。很明显，这种在一个问题上耗费10年甚至更多时间的能力，显示了爱因斯坦在头脑中进行模拟未来实验的坚持不懈。

第三，他的人格也非常重要。他是波希米亚人，所以由他来反对物理学的既成体制是自然而然的。并不是每个物理学家都有勇气或想象力去挑战艾萨克·牛顿建立起来的理论，这个理论已经在爱因斯坦之前占据统治地位200年。

第四，时代对于爱因斯坦的出现有着重要的意义。1905年，牛顿的旧物理体系濒于分崩离析，因为实验已经明确说明新的物理学即将出现，等待着天才的诞生来指引道路。例如，被称为放射的神秘物质在黑暗的环境中不断自发释放光亮，能量似乎凭空就能产生，这违反了能量守恒定律。换句话说，爱因斯坦是时代的骄子。即使我们能用所保存的大脑细胞克隆出爱因斯坦，我也会怀疑这个克隆人是否会成为下一个爱因斯坦。历史环境也必须适合天才的诞生。

这里的重点是，天才也许是某种天生的大脑能力与达成伟大功绩的决心和动力相结合的结果。爱因斯坦的天才的关键很可能在于其进行思想实验，模拟未来，通过图像建立新的物理规律的非凡能力。爱因斯坦自己曾经说过："智力的真正标志不是知识，而是想象。"对于爱因斯坦而言，想象力意味着打破已知世界的边界，进入未知的世界。

我们每个人天生都有某种能力，这种能力存在于我们的基因和大脑架构中。这些都是运气的结果。但我们怎样组织自己的思想和经历，然后模拟未来，这些都完全受我们自己的掌控。查尔斯·达尔文（Charles Darwin）曾经写道："我一直认为，除傻瓜外，人的智力不会相差很多，我们的差异只在于热情和辛勤工作。"

天才能学到吗？

又回到了这个问题：天才是后天学得的，还是天生的？这种先天与后天的论辩会以怎样的方式解开智力的奥秘？普通人是否能成为天才？

由于大脑细胞很难再生（这一点已经为世人所知），人们曾经一度认为智力在我们刚成年时就确定了。但随着大脑研究的不断进行，有一点变得越来越清楚：当大脑学习时，它本身会发生变化。虽然大脑皮层中的细胞不会增加，但每次学到新技能，大脑神经元的连接方式都会发生改变。

例如，在2011年，科学家分析了伦敦出租车司机的大脑，要求受试的司机记下伦敦的25 000条街道，这些街道纵横交错，令人头晕目眩，就像迷宫一般。准备这个艰苦的测试用了3～4年，只有一半的受训司机通过了测试。

伦敦大学学院的科学家在这些司机接受测试前分析了他们的大脑，在3～4年后，对他们又测试了一次。通过测试的受训者在后海马体和前海马体中所拥有的脑灰质比之前更多。我们之前讨论过，海马体是处理记忆的部位。（有意思的是，这个测试还表明这些出租车司机在处理视觉信息方面得分较低，所以，这里也许有一个平衡，是学习这么大量的信息所付出的代价。）

资助这项研究的惠康基金会（Wellcome Trust）的埃莉诺·马圭尔（Eleanor Maguire）说："人类大脑仍然具有'可塑性'，即使到成年仍然如此，这使大脑能够适应新学到的技能。这对于想学习新技能的成年人来说是莫大的鼓励。"

同样，学习到很多新技能的老鼠，它们的大脑与那些没有学习这些技能的老鼠相比稍有不同。在这种情况下，神经元的数量并没发生什么改变，但神经连接的方式因学习过程发生了改变。换句话说，学习事实上改变了大脑的结构。

这就回到了那句老话"熟能生巧"。加拿大的心理学家唐纳德·赫布（Donald Hebb）博士发现了一种有关大脑架构的重要事实：我们越是训练某项技能，我们大脑中的某些通路就越得到加强，而这项技能就会因之变得更为容易。今天的数字计算机与过去的相比没有智力上的差异，与之不同的是，大脑是一台学习的机器，每次学到一些东西，都有能力改变其神经通路。这是人脑与计算机的根本差异。

这种现象不仅发生在伦敦的出租车司机身上，也发生在了训练有素的音乐会演奏家身上。心理学家K.安德斯·埃里克森（K. Anders Ericsson）博士和他的同事们研究了精英荟萃的柏林音乐学院中的小提琴大师，根据他们的研究，一流音乐会的小提琴手到20岁时要经历1万个小时的刻苦练习，每个星期练习30多个小时。与之相比，他发现那些只是演奏得很不错的学生只练习了8 000小时，或更少的时间，未来的

音乐教师只练习了4　　　000小时。神经科学家丹尼尔·列维京（Daniel Levitin）说："这项研究所得出的结论是，要达到一流专家的水平，1万个小时的训练是必须的，对任何事都是如此……在对作曲家、篮球运动员、小说家、滑冰运动员、音乐会钢琴家、象棋手和高级罪犯等的不断研究中，这个数字一再出现。"　　　　马尔科姆·格拉德威尔（Malcolm Gladwell）在其著作《异类》（Outliers）中把这种现象称为"1万小时规则"。

怎样测量智力？

但怎样测量智力呢？几个世纪以来，任何有关智力的讨论都是根据道听途说和奇闻逸事。现在，磁共振成像（MRI）研究已经表明，在解答数学题时，大脑的活动主要发生在前额叶皮层（参与理性思维）和顶叶（处理数字）的神经通路连接之间。这与爱因斯坦大脑的解剖结果相印证，解剖结果表明他的下顶叶比普通人要大。所以，可以想见，数学能力与前额叶皮层和顶叶之间的信息流有关。但爱因斯坦大脑中这块区域的面积是随着努力工作和学习增大的，还是爱因斯坦天生如此？这个问题还没有明确答案。

关键问题在于，我们对于智力并没有统一的定义，对于其起源，科学家们更是没有统一的看法。但如果我们想提升智力，回答这个问题也许至关重要。

IQ测试与特曼博士

作为默认的方式，测量智力最广泛使用的方法是IQ（智商）测试。这种测试由斯坦福大学的刘易斯·特曼（Lewis Terman）博士首先发起，他在1916年修改了之前阿尔弗雷德·比奈（Alfred　Binet）为法国政府设计的测试题。接下来的几十年中，这种测试成了测量智力的金科玉律。事实上，特曼的一生都奉献给了这个命题：智力可以测量，智力可以遗传，智力是成功人生最有效的预言指标。

5年后（**1921**年），特曼启动了具有里程碑意义的小学生研究，"天才的基因研究"（The Genetic Studies of Genius）。这是一项野心勃勃的研究，它的范围和持续时间在20世纪20年代是史无前例的。它在这个领域为之后整整一代的研究奠定了基调。特曼井井有条地记录下这些人一生中的成功和失败，积累下厚厚的档案。这些高智商的学生被称为"特曼之子"。

最初，特曼博士的想法似乎取得了巨大的成功。他的方法成了测量儿童智商以及衡量其他测试的标准。在第一次世界大战期间，有170万士兵接受了这种测试。但经过很多年，一种不同的模式慢慢形成了。几十年后，那些在IQ测试中得分很高的儿童只比那些得分低的儿童成功一

点点。特曼仍然可以骄傲地列举出那些不断赢得奖项、获得高薪工作的学生，但他越来越感到不安，有大量的天才学生最后被社会看作失败者，他们做着卑微的毫无前途的工作，甚至参与犯罪，或者生活在社会的边缘。这种结果让特曼博士感到十分难受，因为，他用尽一生要证明的是高智商意味着人生的成功。

成功的人生与延迟满足

沃尔特·米舍尔（Walter　Mischel）博士也来自斯坦福大学，他在1972年采取了不同的方法，分析了儿童的另外一个特点：延迟满足的能力。他开创了“棉花糖测试”（marshmallow　test）：儿童是会选择现在得到一个棉花糖，还是会选择20分钟后获得两个棉花糖？有4～6岁的600名儿童参加了这个实验。米舍尔在1988年重新访问了这些受试者，他发现那些表现出延迟满足的人比那些未表现出的人更有能力。

1990年，另外一项研究表明，延迟满足的人与他们的“学术能力测试”（SAT）分数有着直接的关系。在2011年进行的一项研究说明，这种特点贯穿一个人的一生。这些研究以及其他研究的结果令人大开眼界。那些表现出延迟满足的儿童几乎在人生的所有方面都取得了更大的成功，这包括更高报酬的工作、更低的毒品上瘾率、更高的测试分数、更高的学习成绩、更好的社会融入等。

但最为让人着迷的是，对这些人的大脑扫描揭示了一种确定的模式，他们的前额叶皮层与腹侧纹状体交互的方式有着明显的不同，腹侧纹状体这个区域与上瘾有关。（这并不奇怪，因为腹侧纹状体包含被称为“快感中枢”的伏隔核。所以，似乎在大脑寻求快感的部位与抵御诱惑的理智部位之间存在着一种较量，这一点我们在第2章已经看到。）

这种不同并非巧合。多年以来，很多独立的研究验证了这个结果，得到了几乎相同的结论。其他研究也证实了大脑中前额叶皮层与腹侧纹状体之间回路的差异，似乎是这个回路决定了延迟满足的能力。这种能力似乎是与成功的人生关系最紧密的一种特性，而且这种能力会一直延续。

虽然这里有极大的简化，但这些大脑扫描结果表明，前额叶皮层与顶叶皮层之间的连接对于数学思维和抽象思维似乎十分重要，而前额叶皮层与边缘系统（关系到对情感和快感中枢的有意识的控制）似乎对于成功的人生至关重要。

威斯康辛大学麦迪逊分校的神经科学家理查德·戴维森（Richard Davidson）博士总结道：“你在学校里的成绩，你的学术能力测试（SAT）分数，对于成功的重要性都不及你的合作能力、控制情感的能力、延迟满足的能力以及集中注意力的能力。所有数据都表明，对于成功而言，这些能力比你的智商或成绩要重要得多。”

测量智力的新方法

显然，应该有新的方法测量智力和衡量成功。IQ测试并非毫无用处，但这种测试只能测量一种有限的智力。《大脑：完整的心灵》（Brain: The Complete Mind）一书的作者迈克尔·斯威尼（Michael Sweeney）博士写道："测试无法衡量动机、毅力、社交技巧和一系列完美人生所涉及的其他品质。"

许多标准化测试的问题是没有考虑到文化影响可能带来的偏差。另外，这些测试仅能衡量一种智力形式，一些心理学家把这种智力称为"收敛"智力。收敛智力关注单一的思维路径，而忽视更为复杂的"发散"智力，这需要测量不同的因素。例如，在第二次世界大战期间，美国空军请科学家设计心理测试题以测量飞行员的智力，以及他们应对难度很大的突发事件的能力。其中一个问题是：如果你在敌境纵深处被击落，但必须回到友军境内，你应该怎么做？结果完全与传统观点相反。

多数心理学家预期，这项研究的结果应该是高智商的飞行员会在测试中得到高分。事实上，情况与此相反。得分最高的是那些发散智力水平较高的飞行员，他们可以理清多种思维路径。这些飞行员在敌境内被俘后，可以想出各种各样非常规的、富有想象力的逃脱方法。

收敛智力与发散智力的差异在对脑裂患者的研究中也有所体现，这些研究明确表明，大脑两个半球的架构分别主要负责其中一种智力。德国富尔达的乌尔里希·克拉夫特（Ulrich Kraft）博士写道："左半球负责收敛思维，右半球负责发散思维。左半球检查细节，并用逻辑和分析来处理，但缺少统摄一切的抽象联系。右半球更有想象力，更有直觉性，它倾向于整体性的思维，可以把信息的各个片段整合在一起。"

在本书中，我提出的观点是：人类意识是一种建立世界模型，并在未来利用该模型达成目标的能力。表现出发散思维的飞行员，他们可以准确细致地模拟多种可能的未来事件。同样，在著名的棉花糖实验中表现出延迟满足的儿童似乎也是最具模拟未来能力的人，他们可以看到长期的奖励，而不仅限于短期的暴发户式的眼前利益。

设计一种更为精密的智力测试直接量化一个人模拟未来的能力，也许会非常困难，但并非不可能。我们可以请一个人设计多种可能赢取游戏胜利的未来现实场景，按照这个人能够想象出的模拟场景数量以及每个场景中所包含的因果连接数量进行评分。这种方法测量的是一个人运用信息达成更高目标的能力，而非单纯测量他吸收信息的能力。例如，假定一个荒岛上遍布饥渴的野兽和毒蛇，我们可以请受试者列出所有能够在荒岛上生存下去的方法，如何抵御危险的野兽，如何逃离这个荒岛，并要他们说明可能的结果与未来事态发展之间细致的因果联系。

我们可以看出，以上讨论中贯穿着同一个观点，即智力似乎与我们

能够模拟未来事件的精细程度有关，而这一点又与我们之前讨论的意识相关联。

但鉴于在世界各个实验室中电磁场、遗传学和药物疗法的快速发展，是否能够不只是测量智力，而且也能提升智力，从而使我们成为下一个爱因斯坦呢？

提升我们的智力

小说《献给阿尔吉侬的花》（Flowers for Algernon，1958年）中探讨了这种可能性，这部小说后来拍成了电影《查利》（Charly，1968年，又译《情事不可挡》），获得了奥斯卡奖。小说叙述了查利·戈登（Charley Gordon）的悲惨生活，他的智商只有68，在面包房中打下手。他的生活十分简朴，他不知道自己的同事一直在嘲笑他，甚至不知道怎样拼写自己的名字。

他唯一的朋友爱丽丝是一位同情他的老师，试图教他识字。有一天，科学家发现了一种能够使普通老鼠突然变聪明的方法。爱丽丝听说了这个消息，决定把查利介绍给这些科学家。他们答应把查利作为他们的第一个人类受试者，对他使用这种方法。在几个星期内，查利发生了显著的变化。他的词汇量增大了，他如饥似渴地阅读着从图书馆里借来的书，他成了被女人所爱的男人，而且他的房间里布满了现代艺术品。不久，他就开始阅读相对论和量子力学了，推进了高等物理学的发展。他与爱丽丝甚至成了情人。

但之后，医生发现那些老鼠慢慢失去了能力，且相继死亡。查利意识到自己也可能失去所有的东西，他疯狂地想要利用自己超常的智力找到治疗方法，但他却不得不见证自己无可逃避的衰亡。他的词汇量在减少，他忘记了数学和物理学，他慢慢地退回到从前的那个自己。在最后一幕中，爱丽丝心碎地看着查利与孩子们玩耍。

小说和电影虽然寓意深刻且广受好评，但人们只把它当作纯粹的科学幻想。虽然情节感人，颇有新意，但提升智力的想法未免荒谬。科学家们说，大脑细胞不能再生，所以这部电影的情节显然不可能成真。

但现在情况发生了改变。

虽然现在仍然不可能提升智力，但电磁传感器、遗传学和干细胞技术的快速发展，也许会使它有一天具有实现的可能性。科学家们尤其对“自闭症天才”产生了浓厚的兴趣，他们拥有普通人难以想象的非凡能力。更为重要的是，随着大脑探索的深入，普通人也将很快获得这种几乎奇迹般的力量。一些科学家甚至认为，这种神秘的能力可以通过电磁场诱发。

特才：超级天才？

Z先生9岁时一颗子弹穿过了他的头颅。医生以为子弹会要了他的命，但这并没有发生，不过子弹对他大脑的左半边造成了大面积的损伤，使他身体的右半边处于瘫痪状态，同时导致他永久性聋哑。

然而，这颗子弹还有一个奇异的副作用。Z先生展示出超常的机械能力和惊人的记忆力，这都是“特才”的典型特征。

Z先生并不是唯一一例。1979年，一名叫作奥兰多·瑟雷尔（Orlando Serrell）的10岁男孩被垒球打到头部的左半边，发生昏迷。起初，他说自己头疼。但当疼痛消退后，他拥有了令人震惊的数学计算能力，而且对于发生在自己生活中的某些事件有近乎照片式的记忆。他还能计算几千年后的日期。

在全世界大约70亿人中，这种有记载的特才仅有100例左右。（如果把那些具有超强脑力，但还算不上超人的天才算进来，这个数字会大得多。人们相信，自闭症患者中大约有10%表现出某种特殊能力。）这些奇异的特才所拥有的能力，远远超出了我们今天的科学所能解释的范围。

最近，有几类特才引起了科学家的好奇心。在特才中，约有一半患有某种形式的自闭症（另外一半有其他精神疾病或心理障碍）。他们通常很难融入社会生活，陷入深度孤独之中。

还有一种“获得性特才综合征”（acquired savant syndrome，又译“后天性学者症候群”）。这种人表面上完全正常，但在日后受到极度创伤（比如，头撞在游泳池底，或者头被球或子弹击中），而且创伤几乎总是在大脑左半边。不过有一些科学家认为这种区分有误导性，他们认为，也许所有特才都是获得性的。由于自闭症天才在3岁或4岁左右才开始表现出自己的能力，他们的自闭症（就像对他们头部的一次打击）也许是这种能力的来源。

对于这种超常能力的来源，科学界并没有统一的观点。有些人认为，这些人天生如此，因此是独特的自成一类的异常现象。他们的能力，即使在子弹诱发的案例中，也先天地存在于他们的大脑结构中。如果这样，这种能力也许根本无法学得或转移。

另外一些人宣称，这种大脑固化观点违反了进化论。进化是长期累积的结果，如果特才型的天才存在，那么我们普通人也应该拥有相似的能力，但这些能力还处在潜伏状态。那么，这意味着有一天，我们可以随意开启这种奇迹般的力量吗？有些人相信这一点，甚至有一些论文声称，所有人都拥有某些潜在的特才能力，可以用经颅电磁扫描仪（TES）发出的磁场激活。也许，这种能力有着基因基础，这样，用基因疗法就可以重现这种令人惊叹的能力。另外，我们还可以培育干细胞，使前额叶皮层和其他大脑关键部位的神经元数量增加，从而提升我

们的大脑能力。

这些路径是很多猜想和研究的源头。这些方法不仅可以使医生抑制像老年痴呆症这样的病症，还能使我们提升智力。这种可能性太迷人了。

本杰明·拉什（Benjamin Rush）博士在1789年第一个记录了特才案例。他研究一个似乎具有神经障碍的人。但当这个人被问及一个人（年龄70岁零17天又12小时）活了多少秒时，他只用了90秒就说出了正确答案：2 210 500 800秒。

威斯康辛大学医学院的内科医生达罗·特雷费特（Darold Treffert）博士仔细研究了这些特才的案例。他描述了一个盲人特才的故事。他被问及一个简单的问题：如果在棋盘的第一个方格上放1颗玉米粒，第二个方格上放2颗，下一个放4颗，以此类推，第64个方格上会有多少颗玉米粒？他只用了45秒就说出了正确答案：18 446 744 073 709 551 616颗。

也许最为人熟知的特才是已故的金·皮克（Kim Peek），他是由达斯汀·霍夫曼（Dustin Hoffman）和汤姆·克鲁斯（Tom Cruise）主演的电影《雨人》（Rain Man）的原型。虽然金·皮克患有严重的神经障碍（他无法自己生活，几乎不会系鞋带，也不会系衬衫扣子），但他记下了大约1.2万本书的内容，可以一字不差地复述某一页上的句子。他读一页书大约只要8秒钟的时间。（他可以在半小时左右记下一本书，但他读书的方式很特别。他可以同时阅读两页，每只眼睛同时各读一页。）他十分害羞，但最终还是喜欢上了为好奇的看客表演自己令人目眩的数学绝活，那些人总是用刁钻的问题挑战他。

当然，科学家要仔细地把真正的特才能力与简单的记忆把戏区分开。他们的能力不仅限于数学，他们还表现出不可思议的音乐、艺术和机械能力。由于自闭症天才很难用语言表述自己的思维过程，所以进行研究的替代方法是选择“阿斯伯格综合征”（Asperger syndrome）患者进行研究。阿斯伯格综合征是一种较弱的自闭症，直到1994年才被认定为一种独立的心理症状，所以这方面几乎没有可靠的研究成果。像自闭症患者一样，患有阿斯伯格综合征的人很难与他人进行社会交往。然而，经过训练，他们可以学会足够的社会技能，进行工作，并说出自己的思维过程。同时，他们当中的一部分人展现出令人惊叹的特才能力。一些科学家认为，很多伟大的科学家都患有阿斯伯格综合征。这可以解释物理学家，如艾萨克·牛顿（Isaac Newton）和保罗·狄拉克（Paul Dirac，量子理论的创始人之一）的怪异隐居性格。特别是牛顿，他无法进行闲聊，已经到了病态的程度。

我有幸采访了畅销书《星期三是蓝色的》（Born on a Blue Day，又译《生在蓝天下》）的作者丹尼尔·塔米特（Daniel Tammet），他就是这样的一个人。几乎是所有这些特才中唯一的一个，他可以用写书的

方式，或者通过电台或电视采访表达自己的思想。对于有着如此严重社交障碍的孩子来说，他现在对交际技巧的掌握已经非常娴熟。

丹尼尔对π这个基本几何数字的记忆创了世界纪录，他可以记住小数点后22 514位。我问他是怎样为这个壮举做准备的，他告诉我，他把每个数字与颜色或图形关联起来。然后，我问了他这个关键问题：如果每位数字都有颜色或图形，那么他是如何记住几十万个颜色和图形的呢？很不幸，对这一点他说他不知道。这一切对他来说是自然而然的。当他还是小孩子时，数字就成了他的生命，所以，数字会轻而易举地出现在他脑海里。他的大脑是数字与颜色的不断交织物。

阿斯伯格综合征与硅谷

到目前为止，我们的讨论都比较抽象，与我们的日常生活似乎没有直接关系。但轻微的自闭症患者以及阿斯伯格综合征患者的影响力可能比我们之前想象的要广泛得多，尤其是在某些高科技领域。

在热播的电视剧《生活大爆炸》（The Big Bang Theory）中，我们看到几个年轻科学家的古怪生活，他们都是傻呆呆的物理学家，用种种奇怪的方式追求女性。每一集中，都有一些令人捧腹大笑的情节，刻画他们在追求女孩子方面有多么愚蠢可悲。

整个剧情中都隐含着这样一个假设：他们优异的智力与他们的愚蠢相对应。有意思的是，很多人发现硅谷的高科技领袖们缺乏社交能力的比率似乎比普通人群更高。（在高度专业化的理工科大学中，女科学家们有一个说法，那里的男女比例肯定对她们有利，她们说："概率不错，产品很怪。"[The odds are good, but the goods are odd.]）

科学家开始着手研究这种看法。这里的假设是患有阿斯伯格综合征和其他轻微自闭症的人，他们拥有适于某一个领域的完美能力，比如信息科技产业。伦敦大学学院的科学家考察了16个被诊断为轻微自闭症的人，并把他们与16个正常人比对。两组人都观看包含随机数字和字母的幻灯片，每张幻灯中的数字和字母图形的复杂程度按顺序递增。

他们的研究结果表明，患有自闭症的人更能在这项测试中集中精力。事实上，随着测试难度加大，两组人的智力差距开始扩大，自闭症患者比控制组的表现要好得多。（不过，这项测试也说明，这些人比控制组更容易受外界噪音和灯光闪烁的影响。）

尼利·拉维（Nilli Lavie）博士说："我们的研究证实了这个假说：自闭症患者与一般人群相比有更高的知觉能力……自闭症患者可以比普通成年人感知更多信息。"

当然，这并不能说明所有智力超常的人都患有某种阿斯伯格综合征。但它的确说明，在那些需要集中智力的领域中，阿斯伯格综合征患

者的比例可能更高。

对特才的大脑扫描

特才的话题总是伴随着各种道听途说以及迷人的奇闻逸事。但最近，整个领域都被磁共振成像技术和其他大脑扫描技术的发展颠覆了。

例如，与众不同的金·皮克，磁共振成像（MRI）扫描显示他的大脑中缺少连接左半球与右半球的胼胝体，这很可能是他可以同时阅读两页书的原因。他糟糕的运动能力与他畸形的小脑相对应，这个区域负责控制平衡。不幸的是，磁共振成像扫描并没有指出他的超常能力以及照相式记忆的来源。但总体来说，大脑扫描说明，很多获得性特才综合征患者都曾经遭受左脑损伤。

科学家尤其关注左前颞叶皮层和眶额叶皮层。有些人认为，也许所有特才（自闭症型、获得性型和阿斯伯格型）都是由于左颞叶中的某个特定部位发生损伤。这个区域就像“检察官”一样，定期清除不相关的记忆。但在左半球发生损伤后，右半球开始接管。右脑比左脑更为精确，左脑常会扭曲现实，进行虚构。事实上，人们相信由于左脑的损伤，右脑必须加倍工作，由此产生了特才能力。例如，右脑比左脑更具艺术性。在正常情况下，左脑会限制这种能力，不断进行抑制。但如果左脑受到某种伤害，它就可能释放出潜伏在右脑中的艺术能力，引发艺术天赋的爆发。所以，释放特才能力的关键也许在于抑制左脑，使其不再限制右脑的自然能力。这有时被称为“左脑损伤，右脑补偿”。

1998年，加州大学旧金山分校的布鲁斯·米勒（Bruce　Miller）博士进行了一系列的研究来证实上述看法。他和同事们研究了5个刚刚表现出额颞叶痴呆症（FTD）的正常人。随着痴呆症状的发展，特才能力逐渐出现。当痴呆症状恶化时，其中几个人甚至表现出超常的艺术能力，而他们当中没有人在此之前展现过这方面的天赋。此外，他们所展现的才能是典型的特才表现。他们的能力是视觉性的，而非听觉性的，他们的艺术作品虽然令人惊叹，但却只是缺乏原创、抽象或象征的复制品。（有一个患者在研究过程中病情发生好转。但在她身上表现出的特才能力也因之而消退。这说明，在左颞叶出现的障碍症与特才能力之间有着密切的联系。）

米勒博士的分析似乎说明，左前颞叶皮层和眶额叶皮层的退化很可能降低了对右半球视觉系统的抑制，从而提升了艺术能力。这再一次说明，由于左半球某个部位的损伤，右半球开始接管，进而得到发展。

除特才之外，科学家还对“超记忆综合征”（hyperthymestic syndrome，又译“超强记忆症候群”）患者进行了磁共振成像扫描，这些人也表现出照相式的记忆。他们虽然没有自闭症和其他神经症状，但他们拥有某些特才式的能力。整个美国大约只有4例真正的照相式记忆的

记载。其中一个是洛杉矶市一所学校的校长，吉尔·普莱斯（Jill Price）。她可以准确地回忆起几十年前某一天所发生的事。但她抱怨说，自己很难抹去某些思想。事实上，她的大脑似乎被“定在自动驾驶状态”。她把自己的记忆比作从分区屏幕中看世界：过去和现在都不断争取她的注意力。

自2000年起，加州大学欧文分校的科学家就开始扫描她的大脑，发现她的大脑的确与众不同。其中有几个区域比正常水平要大，比如尾状核（关系到习惯的形成）和颞叶（储存事实和数字）。他们认为，是这两个区域共同造就了她的照相式记忆。所以，她的大脑与那些左颞叶受到伤害或发生损伤的特才并不相同。其中的原因还不清楚，但这指出了获得这种超强的大脑能力的另一条路径。

我们可以成为特才吗？

所有这些都引出了这样一种有趣的可能性：我们可以有意识地抑制左脑某些部分的活性，从而增加右脑的活动，使其获得特才能力吗？

我们回想一下，经颅磁刺激（TMS）可以有效地关闭某些大脑部位。那么，我们为什么不用经颅磁刺激（TMS）关闭左前颞叶皮层和眶额叶皮层部位，从而随意开启自己的特才能力呢？

事实上，已经有人实施了这个想法。澳大利亚悉尼大学的艾伦·斯奈德（Allen Snyder）博士几年前宣称，对左脑的某个部分应用经颅磁刺激术（TMS）使受试者突然获得了类似特才的能力。这个发现使他得到了媒体的关注。用低频磁波刺激左半球在理论上可以关闭这个占据统领地位的大脑区域，从而使右脑接管。斯奈德博士和他的同事对11名男性志愿者进行了实验。他们用TMS刺激受试者的左额颞区，同时让他们进行涉及阅读和绘画的测试。这并没有在受试者中诱发特才能力，但其中两个人在单词改错和识别重复单词方面的能力得到了极大的提升。在另外一项实验中，R.L.扬（R.L.Young）博士和他的同事对17个人进行了一系列心理测试。这些测试专门测量特才能力。（这种测试分析一个人记忆事实、演算数字和日期、创造艺术品以及演奏音乐的能力。）其中5个受试者在接受经颅磁刺激之后宣称自己的特才能力得到提升。

迈克尔·斯威尼（Michael Sweeney）博士评论道：“实验表明，把经颅磁刺激（TMS）应用于前额叶，可以提升认知处理的速度和敏捷性。这种TMS刺激就像在局部注射咖啡因，但没有人知道磁场是怎样进行工作的。”这些实验在暗示，但绝不是证明，关闭左额颞叶区可以开启某种超常能力。这种能力与特才能力还相差甚远。我们应该注意到，其他研究团队也在研究这些实验，但并没有得到最终结果。还有许多研究工作要做，现在作出某种结论还为时尚早。

经颅磁刺激（TMS）探针是实现这个目的最简单、最方便的设备，

因为它可以有选择地随意压制各个大脑区域，而无须依赖于大脑损伤或创伤性事故。但也应该指出，TMS探针仍然十分粗糙，每次都压制几百万个神经元。与电探针不同，磁场不够精确，它展开的范围有好几厘米。我们知道，特才的左前颞叶皮层和眶额叶皮层发生损伤。这至少在某种程度上可能与他们的奇特能力有关，但真正发生损伤的区域也许只是这个区域中的一小部分。所以，每次进行TMS刺激都可能不小心抑制了那些诱发特才能力所必须保持的区域。

未来，我们也许可以用经颅磁刺激（TMS）探针精确标定特才能力所涉及的区域。一旦识别了这个区域，下一步也许就是用高精度电探针，比如深部脑刺激术中所使用的探针，更为精确地压制这些区域。然后，只需按一下按钮，我们就能用探针关闭这个微小的区域，从而引出特才能力。

抑制遗忘与照相式记忆

虽然特才能力可能由某种左脑损伤（引发右脑补偿）开启，但这并没有解释右脑究竟怎样进行这种奇迹般的记忆的。究竟是怎样的神经机制引起照相式记忆的呢？对这个问题的答案将会决定我们是否能成为特才。

直到最近，人们一直认为照相式记忆是一种特殊的大脑记忆能力。如果是这样，普通人就很难学会这种记忆技巧，因为只有异常的大脑才具备这种能力。但在2012年，一项新的研究给出了完全相反的看法。

照相式记忆的关键也许并不是异常大脑所拥有的学习能力。与之相反，关键可能在于大脑的遗忘能力。如果这种看法是正确的，那么照相式记忆也许根本不是什么神秘的事情。

这项新研究由佛罗里达州斯克里普斯研究所的科学家完成，他们对果蝇进行了实验。他们发现了一种果蝇学习的有趣方法，而这一点可能推翻我们一直持有的关于记忆的形成和遗忘的观点。他们让果蝇暴露在各种气味之中，并给它们正面强化（食物）或负面强化（电击）。

这些科学家知道神经递质多巴胺对于记忆的形成十分重要。但令他们惊讶的是，多巴胺在积极地调节新记忆的形成和遗忘。在形成新记忆的过程中，dCA1（似为dDA1，果蝇多巴胺1）受体被激活。与之相对，记忆遗忘时DAMB（多巴胺蘑菇体）受体被激活。

之前，人们认为遗忘仅仅是记忆随时间的退化，是一个被动的过程。这项新研究表明，遗忘也是一个主动的过程，需要多巴胺的介入。

为了证明这一点，他们通过影响dCA1受体和DAMB受体，表明可以随意提升或降低果蝇记忆和遗忘的能力，dCA1受体的变异会破坏果蝇的记忆力，而DAMB受体的变异会降低它们遗忘的能力。

这些研究人员猜测，这个结果可能部分地导致了特才能力。也许，这些特才的遗忘能力有缺陷。参与这项研究的一名研究生雅各布·贝里（Jacob　Berry）说：“特才具有非常强的记忆力。但也许并不是记忆给了他们这种能力；也许是他们的遗忘机制太糟糕了。这也可能成为开发提升认知力和记忆力药物的一种策略。通过药物抑制遗忘来提升认知能力，这听起来会怎么样？”

假设对人类的实验也会有相似的结果，这就会鼓励科学家开发抑制遗忘过程的新药物和新的神经递质。这样，我们就可以在需要时通过压制遗忘，有选择地打开照相式记忆，而不用持续接收外来的无用信息，正是这一点影响了特才的思维。

还有一个令人兴奋的地方。奥巴马政府启动的“大脑研究计划”（BRAIN）项目也许会确定获得性特才综合征所涉及的具体神经通路。经颅磁场目前还太粗糙，无法确定参与其中的神经元。但大脑研究计划（BRAIN）项目利用纳米探针和最新的扫描技术，也许能够分离出引起照相式记忆和不可思议的计算、艺术与音乐能力的准确神经通路。这个项目会用几十亿美元的资金，研究精神疾病和其他大脑损伤所涉及的具体神经通路，而在此过程中，特才能力的奥秘也可能被解开。之后也许就可以把普通人变成特才。在过去，随机事故使这种现象出现了很多次。未来，这也许会成为一种精确的医学疗法。时间会告诉我们答案。

到目前为止，我们所分析的方法都不涉及改变大脑或身体的本质。我们希望利用磁场就可以诱发已经潜伏于我们大脑中的才能。这种想法背后的基础是，我们都是有可能成为特才的，只要我们的神经回路发生某种微小的变化，这种潜在能力就会出现。

但还有一种策略，即用最新的大脑科学以及基因技术直接改变我们的大脑和基因。其中一种很有希望的方式是使用干细胞。

大脑干细胞

几十年来，关于大脑细胞不可再生的看法已经成为一种教条，修复老去的、即将死亡的脑细胞似乎是不可能的，而催生新的脑细胞以提升能力似乎也不可能。但这一切在1998年发生了改变。那一年，人们在海马体、嗅球和尾状核中发现了成年干细胞。简单地说，干细胞是“所有细胞之母”。例如，胚胎干细胞可以随时成长为任何其他一种细胞。虽然所有细胞都包含构建人体所必需的完整基因材料，但只有胚胎干细胞有能力分化为人体中的任何类型的细胞。

成年干细胞失去了这种变色龙一样的能力，但它们仍然能复制并取代老化的、濒临死亡的细胞。就记忆增强而言，科学家主要关注海马体中的成年干细胞。事实表明，自然情况下每天有几千个新的海马体细胞

生成，但大多数随后马上死去。实验表明，学习新技能的老鼠保留了更多的新细胞。训练和提振情绪的化学物质也能提升新海马体细胞的存活率，而压力相反会加速新神经元的死亡。

2007年，威斯康辛大学和日本的科学家取得了突破，他们用普通的人体皮肤细胞，通过基因重组使它们转化为干细胞。人们希望有一天可以把这些干细胞（不管是自然生成的，还是利用基因工程合成的）注入到老年痴呆症患者的大脑中，使其取代即将死去的细胞。（由于还没有恰当的连接，这些新的脑细胞不会融入大脑的神经架构中。这意味着，人们需要重新学习某些技能才能将这些新的神经元融入大脑。）

干细胞的研究自然而然地成为大脑研究最活跃的领域。瑞典卡罗林斯卡学院的乔纳斯·弗里森（Jonas Frisén）说："干细胞研究和再生医学现在成了最炙手可热的词汇。我们在这方面迅速积累知识，有很多家公司建立起来，已经在不同领域开始了临床试验。"

智力的基因学

除干细胞外，另外一条探索路径是分离出与人类智力有关的基因。生物学家发现，我们的基因与黑猩猩有98.5%的相似度，但我们的寿命是它们的两倍，而且在过去的600万年中我们的认知能力得到了极大的发展。所以，在这些少数基因中肯定存在某种基因使我们的大脑不同于黑猩猩。用不了几年时间，科学家就会绘制出所有基因差异图，人类长寿和高级智力的秘密可能在这个微小的基因集合中找到答案。科学家目前正在关注几个可能推进人类大脑进化的基因。

因此，解开智力奥秘的线索也许在于我们对猿类祖先的认识。这引出另外一个问题：这项研究是否会使《人猿星球六部曲》（Planet of the Apes）中的情景成为可能？

在这部长期上映的系列电影中，核战争摧毁了现代文明，人类复归于荒蛮，但核辐射似乎加速了其他灵长类动物的进化，最后，它们成了主宰这个星球的物种。它们建立起发达的文明，而人类却成了衣衫褴褛、浑身恶臭，半裸着身子游荡在森林中的野蛮人。最幸运的人成了动物园里的观赏动物。局面发生了逆转，现在轮到猿猴从笼子外呆呆地看着我们。

在它最近的一部《猩球崛起》（The Rise of the Planet of the Apes）中，科学家在寻找治疗老年痴呆症药物的过程中，偶然发现一种病毒，这种病毒意外地提升了黑猩猩的智力。不幸的是，其中一只黑猩猩被安置在黑猩猩避难所时遭到虐待。它用自己超常的智力成功逃脱，而且把这种病毒扩散到其他实验室动物身上，提升了它们的智力，把它们从笼子里释放出来。不久后就出现一群大叫大喊的智能黑猩猩在金门大桥上横冲直撞，当地警察和州警察完全无力应对。在与政府的悲壮交

锋之后，电影走向尾声，黑猩猩们平静地走向金门大桥北部的红杉林，在那里寻找栖息之地。

这种情景会成真吗？短期来看，不会。但无法排除未来发生的可能性，因为科学家在未来几年中就能找到造就智人的所有基因的变异。但在智能猿人出现前，还有很多谜题等待解答。

凯瑟琳·波拉德（Katherine Pollard）博士是一位痴迷于人类特有基因，而非科幻小说的科学家。她是“生物信息学”领域的专家，这一领域在10年前刚刚诞生。在这个生物学领域中，研究人员并非采用解剖的方法研究动物结构，而是利用计算机强大的计算能力，采用数学方法分析动物体内的基因。波拉德正在从事寻找人类特有基因的前沿工作，是这些基因定义了人类的本质，把我们与猿区分开。2003年她刚从加州大学伯克利分校取得博士学位，她抓住了这次机遇。

她回忆道：“我抓住了加入国际团队的机遇，开展识别黑猩猩基因组中DNA碱基序列，也就是‘字母组’的工作。”她的目标十分明确。她知道，黑猩猩是与我们的基因最相似的动物，与之相比，人类基因组所特有的碱基对或“字母组”只有1 500万个（总数为30亿个碱基对）。（在我们的基因密码中，每个“字母”都代表一种核苷酸，一共有4种，分别记作A［腺嘌呤］、T［胸腺嘧啶］、C［胞嘧啶］和G［鸟嘌呤］。人类基因组包含30亿个像ATTCCAGG……这样的字母组。）

“我下定决心要找到它们。”她写道。

分离出这些基因对于未来有深远的意义。一旦我们知道了智人所依赖的基因，我们就有可能确定人类的进化方式。智力的奥秘也可能存在于这些基因当中。甚至有可能加速进化，甚至提升我们的智力。但分析1 500万个碱基对也是一个巨大的数字。我们怎样才能从这个基因海洋中捞起几个基因细针呢？

波拉德博士知道，我们基因组中的大部分由“垃圾DNA”构成，它们不携带任何基因，而且进化对它们也没有什么影响。这些垃圾DNA以非常慢的速度变异（大约每400万年有1%的变异）。由于我们的DNA与黑猩猩的DNA只有1.5%的差异，这就意味着我们可能在大约600万年前与黑猩猩区分开。所以，我们的每个细胞中都有一个“分子时钟”。由于进化会加快变异的速度，那么分析出何时发生加速可以使我们确定是哪些基因在推动进化。

波拉德博士推论说，如果可以写出一种电脑程序，能够标定这种加速变化在人类基因组中的主要位置，那么就能准确地分离出产生智人的基因。在几个月的艰苦努力和纠错之后，她最后把写出的程序载入位于加州大学圣克鲁兹分校的巨型计算机中，焦虑地等待着结果。

最后出来的计算机打印报告与她预期的相同：人类基因组中有201处表现出加速变化。清单上的第一个区域引起了她的注意。

她回忆道："我的导师戴维·豪斯勒（David Haussler）站在我背后，我看着第一个出现的：118个碱基对的展开式。这在后来被称为人类加速1区（HAR1）。"

她欣喜若狂。成功了！

"我们中了头彩。"她也许会这么写。这是梦想成真。

她紧盯着这个只包含118个碱基对的人类基因组区域，与黑猩猩相比，这里发生的变异最多。在这些碱基对中，只有18个自人类形成以来发生了改变。这个令人惊奇的发现表明，人类能够从沼泽般的历史中走出来，仅仅依赖于少数几个基因的突变。

接下来，她和同事们尝试精确破译出这个被称为HAR1（人类加速**1**区）的神秘地带的本质。他们发现，HAR1在几百万年的进化中相当稳定。灵长类动物与禽类大约在3亿年前区分开，但它们只有两个碱基对不同。所以，HAR1事实上有好几亿年没有发生什么变化，差别仅在于G（鸟嘌呤）和C（胞嘧啶）两个字母。但在600万年里，HAR1就变异了18次，构成了人类的巨大加速进化。

但更令人着迷的是HAR1（人类加速**1**区）在控制整个大脑皮层架构中所发挥的作用。大脑皮层的褶皱型构造十分有名，HAR1区域有一种缺陷会造成一种叫作"无脑回畸形"或"平滑脑"的症状，使大脑皮层的褶皱出现错误。（这一区域的缺陷还与精神分裂有关。）人类大脑皮层除了面积较大外，另外一个主要特点是它有褶皱和盘绕的结构，这大大增加了皮层的面积，从而得到更强大的计算能力。波拉德博士的研究表明，这18个字母组的改变在很大程度上构成了人类历史中最重要的、最具决定意义的一次基因变化，极大地提升了人类智力。（还记得历史上最伟大的数学家之一，卡尔·弗里德里希·高斯吗？他的大脑在死后得以保存，表现出超常的褶皱水平。）

波拉德博士的清单还包含其他内容，有几百个表现出加速变化的区域，其中一些人们之前已经知道。例如FOX2（**RNA**结合基序蛋白质**2**），它对于语言的生成至关重要，而语言是人类另一个特有属性。（FOX2基因出现缺陷的个体很难进行与说话有关的面部运动。）另一个被称为HAR2（人类加速**2**区）的区域使我们的手指能够灵活地使用复杂的工具。

此外，由于之前已经得到尼安德特人（**3.5**万年前的穴居人）的基因图谱，因此可以把我们的基因与这种比黑猩猩离我们更近的物种相比对。（在分析尼安德特人的FOX2基因时，科学家们发现，人类的FOX2基因与他们的相同。这意味着，尼安德特人很可能与我们一样，可以发声说话。）

还有一个称为ASPM（异常纺锤状畸形相关蛋白）的关键基因，科学家认为，人类大脑能力的爆炸式发展与它有关。一些科学家认为，这

个基因以及其他基因可以解释为什么人类出现智能，而猿类没有。（ASPM基因出现异常的人通常会患有“小头畸形”，这是一种严重的智力缺陷，因为他们的头颅非常小，大约只与我们的祖先南方古猿的头颅相当。）

科学家追踪ASPM基因发生变异的数量，他们发现在过去的500万~600万年中，即我们与黑猩猩分开后，它变异了大约15次。基因最近的几次变异似乎与人类进化的标志性事件有关。例如，有一次变异发生在10万年前，那时现代人在非洲出现，与我们的长相已没有区别。最近一次变异发生在5 800年前，这与书面文字和农业出现在同一时期。

由于这些变异与智力得到快速发展的各个时期相吻合，我们也许可以尝试着猜测ASPM基因是引起我们智力提升的少数几个基因之一。如果这是正确的，那么我们也许可以进而确定这些基因现在是否还在发生作用，它们是否还继续影响着人类未来的进化。

所有这些研究引出了同一个问题：操控少数几个基因就能提升我们的智力吗？

很有可能。

科学家们正在研究这些基因引发智力提升的具体机制，这方面的进展非常快。尤其是像HAR1这样的基因区域和ASPM这样的基因，有助于解开有关大脑的奥秘。假定我们的基因组中大约有23 000个基因，那么它们如何控制1 000亿个神经元之间的连接呢？而连接的总数有1 000万亿个（1后面15个零）。从数学的角度看，这似乎不可能。人类基因组要编码所有神经连接需要扩大1万亿倍。因此，人类存在本身在数学上就是不可能的。

答案可能是大自然在创造大脑时使用了无数捷径。首先，很多神经元的连接是随机的，所以并不需要细致的规划，这意味着这些随机连接的区域会在婴儿出生后自我组织起来，与环境发生相互作用。

其次，大自然还会利用一些不断重复的模块。一旦大自然发现了某些有用的东西，它就会不断重复。这也许可以解释为什么少数几个基因变异就在很大程度上引发了智力在过去600万年中爆炸式的增长。

所以，大小在这个例子中并不重要。如果我们对ASPM基因以及其他几个基因稍作改变，大脑可能会变得更大、更复杂，从而提升智力。（单纯增大脑容量并不能达到这种效果，因为大脑的组织方式也十分重要。但增加大脑灰质是提升智力的先决条件。）

黑猩猩、基因和天才

波拉德博士的研究针对的是人类基因组中与黑猩猩共有的，但发生

变异的区域。也有可能，人类基因组中的某些区域仅出现在人类中，与黑猩猩无关。最近，在2012年11月，科学家发现了这样的一个基因。由爱丁堡大学的团队领衔的科学家分离出了RIM-941（Rab3A相互作用分子-941）基因，这是目前发现的唯一一个仅出现在智人中，而没有出现在其他灵长类动物中的基因。基因学家还证明，这个基因出现在100万～600万年前（在600万年前人类与黑猩猩分开之后）。

不幸的是，随着具有误导性的新闻标题遍布整个网络，这个发现在科学简报和博客中也引起了巨大的争议。一篇又一篇文章宣称，科学家发现了在理论上可以使黑猩猩获得智能的单个基因。这些新闻呼喊着："人类属性"的本质最终在基因层面被分离出来。

不久后，有着良好声誉的科学家加入进来，试图平息这场喧嚣。他们说，很有可能是一系列基因以复杂的方式运作才导致人类智力，单个基因不会使黑猩猩突然拥有人类智力。

虽然这些新闻标题十分夸大，但他们的确提出了一个严肃的问题：《人猿星球六部曲》中的情景有没有实际的可能性？

这里涉及很多复杂的问题。如果变动HAR1和ASPM基因，使黑猩猩大脑的结构突然增大，那么其他很多基因也应得到改变。首先，要加强黑猩猩的头颈肌肉，增大它的身体尺寸来支撑这个变大的脑袋。然而，如果大脑不能控制手指使用工具，那么大脑变大就是无用的。所以，还要改变HAR2基因来提升手指的灵活性。由于黑猩猩通常用手臂走路，所以还要改变另外的基因，使其直立行走，把手臂解放出来。另外，如果黑猩猩之间不能相互交流，智力也是无用的。所以，还要改变FOX2基因，让它们拥有像人类一样的语言。最后，如果要造就智能黑猩猩这个物种，还要改变它们的产道，因为目前的产道无法适应变大的头颅。可以进行剖腹产，把胎儿取出，也可以从基因上改变黑猩猩的产道，使其适应变大的大脑。

在这些必要的基因调整之后，我们得到了一种与我们非常相像的动物。换句话说，如果不把它们变得与人类十分相近，从解剖学上说，我们就不太可能制造出智能黑猩猩，这与电影中的情景完全不同。

很明显，制造智能黑猩猩并不是一件容易的事。我们在好莱坞电影中看到的智能黑猩猩要么是人穿着猴子的衣服，要么是电脑合成的图画，所有问题都简单地被隐藏起来。但科学家要真正地用基因方法去制造智能黑猩猩的话，这些黑猩猩很可能与我们很相像，它们的手能够使用工具，它们的声带可以说出语言，它们的脊椎可以直立，它们强大的颈部肌肉可以支撑硕大的头部，一切都与我们一样。

这一切同样也会引起道德问题。虽然社会允许我们对黑猩猩进行基因研究，但社会不一定会容忍我们对可以感知疼痛和悲伤的智能生物进行操控。毕竟，这些生物是智能的，可以表达出自己对境况、对命运的

担忧，而它们的观点会得到社会的关注。

毫不奇怪，生物道德学对这一崭新领域还没有任何探讨。这项技术也还没有成熟，但在未来几十年里，随着我们识别出把我们与猿类区分开的所有基因并标定它们的功能，怎样对待这种智力得到提升的动物就会成为重要的问题。

因此，我们看到，精细地绘制出我们与猿之间的细微基因差异，分析并予以解释，仅仅是时间问题。但这仍没有解释这个更深刻的问题：在我们与猿分开后，是什么力量给了我们这种基因禀赋？像ASPM、HAR1和FOX2这样的基因为什么会首先进化？换句话说，基因学会让我们了解人类何以拥有智能，但它无法解释这为什么会发生。

如果我们能够解开这个问题，这就给我们未来的进化提供了线索。这使我们接近了所有讨论的核心：智力的起源是什么？

智力的起源

关于人类为什么会进化出高级智能的问题有很多理论，这可以一直追溯到查尔斯·达尔文。

有一种理论认为，人类大脑的进化很可能是以阶段式进行的，最早的阶段由非洲的气候变化引起。随着气候变冷，森林开始减少，这迫使我们的祖先走向开阔的平原和大草原，在那里他们直接面对捕食者和恶劣的天气。为了在这种充满危险的新环境中生存下来，他们不得不以打猎觅食为生，并开始直立行走，这使他们的双手和对生拇指解放出来使用工具。而这又要求出现更大的大脑来协调工具的制作。根据这个理论，远古的人并非天生就会制造工具，而是“工具造就了人”。

我们的祖先并非突然拾起工具，然后就拥有了智能。情况与此相反。那些拾起工具的人在草原上存活下来，而那些没有利用工具的人逐渐灭绝。在草原上存活下来并兴旺繁衍的人，经过变异，越发熟练地制造工具，而这需要更为强大的大脑。

另一种理论则强调人类的社会性、集体属性。人类可以在打猎、耕种、战争和建造等事项中轻松地协调上百个个体的行为，这个群体数量要比其他灵长类动物大得多，从而使得人类获得其他动物所不具备的优势。根据这个理论，评估并控制这么多个个体的行为需要更为强大的大脑。（这个理论的另一面是，统筹、规划、欺骗、操控部族中的其他智能个体需要更强大的大脑。能够理解其他个体的动机并利用这些动机的个体相对于那些没有这种能力的个体有着很大的优势。这是一种有关智力的马基雅维利式理论［Machiavellian］。）

还有一种理论认为，语言的发展（这在人类进化后期才出现）加速了智力的形成。伴随语言而来的是抽象思维以及规划、组织社会、绘制

地图等方面的能力。人类有着任何动物都无法比拟的庞大词汇量，每个普通人都掌握几万个单词。有了语言，人类可以协调很多个体的活动，并使这些活动集中在某一方面，还可以操作抽象概念和想法。语言意味着，你可以在狩猎活动中管理各个分队，这在追猎满身是毛的猛犸巨兽时有很大的优势。语言还意味着，你可以告诉别人哪里猎物多或哪里有危险。

还有一种被称为“性选择”（sexual selection）的理论，即雌性会选择聪明的雄性进行交配。在动物王国中，比如狼群，阿尔法雄性（alpha male，雄性首领）凭其强力使整个群体凝结在一起。对阿尔法雄性的任何挑战都会遭到尖牙利爪的坚决回击。但在几百万年前，人类慢慢获得智能，仅有强力已很难集合整个部族。任何人都能凭其智力进行伏击、撒谎或欺骗，或者在部族中结成小团体把阿尔法雄性拉下台。所以，新一代的阿尔法雄性不一定是最强壮的。随着时间的推移，最聪明、最狡猾的人将成为领袖。这很可能是雌性选择聪明雄性的原因（不一定是那种高分低能式的“聪明”，而是橄榄球“四分卫式的聪明”。）然后，性选择会加速我们向着智能的进化。所以，在这个图景中，推动我们大脑增大的发动机是雌性对有谋划能力的雄性的选择，他们成了部族的领袖，在智力上战胜了其他雄性，这一切都需要更为强大的大脑。

上面仅是关于智力起源的少数几个理论，每个理论都有着各自的利弊。它们的共同主题似乎是模拟未来的能力。例如，领袖的目的是选择部族未来发展的正确方向。这意味着所有领袖要了解其他人的意图，才能对未来进行规划。因此，模拟未来也许是我们的大脑和智力得到进化的推动力之一。那些有谋划能力的人，他们可以读懂很多同族人的心灵，在与其他人的较量中取胜，他们正是最能模拟未来的人。

同样地，语言也能使人模拟未来。动物拥有一种原始的语言，但这种语言主要是现在时。它们的语言可以对当下的威胁发出警告，比如藏在树丛中的捕食者。动物的语言很明显没有将来时或过去时。动物的语言没有动词变位。所以，表达过去时或将来时的能力也许是人类智力发展的关键性突破。

哈佛大学的心理学家丹尼尔·吉尔伯特（Daniel Gilbert）博士写道：“人类大脑在这个星球上出现的头几亿年里基本上处在永恒的现在时状态，即便今天，多数大脑仍然如此。但你的大脑和我的大脑都不在此列，因为两三百万年前我们的祖先已经超越了当时和当下……”

进化的未来

到目前为止，我们看到一些有趣的研究成果表明我们可以提升记忆力和智力，这主要是通过增强大脑的效率，使其本身能力得到最大的发挥来完成。科学家正在研究各种可能提升人类神经元能力的方法，如药物、基因以及机器（比如经颅磁刺激术［TMS］）。

所以，改变黑猩猩的大脑尺寸和能力虽然困难，但这种可能性很明确。这种水平上的基因控制可能还要几十年的时间。但这引出另外一个难题：这种方法可以走多远？我们能无限地提升一个生物体的智力吗？或者说，改变大脑的方法有没有物理定律上的限制？

令人惊讶的是，这些问题的答案都是肯定的。物理定律通过某些约束限制了人脑基因转化所能达到的高度。要理解这一点，可以先看看人类智力是否依然在进化，以及用什么方法来加速这一自然过程。

在大众文化中流行这样的观点：在未来的进化中，我们的脑袋会越来越大，身体则会变小，而且体毛也会消失。同样，来自太空的外星人由于人们认为它们的智力比我们更为发达，所以也常会被描述成这个样子。走进任何一家新奇产品商店，你都会发现那种类似的外星人模型，硕大的脑袋上有两只凸出的大眼睛，而皮肤是绿色的。

事实上，有迹象表明人类大规模的进化（即有关我们的体型和智力的进化）已经大致停止。有几种因素支持这种观点。首先，人类是双足直立行走的哺乳动物，因此婴儿头颅的大小受到产道尺寸的限制。其次，由于现代科技的兴起，人类祖先所面临的紧迫的进化压力也消除了。

然而，在基因和分子层面上的进化一刻也没有停歇。虽然我们无法用肉眼看到，但的确有证据说明，人类的生物化学基础为了适应环境的挑战，如应对热带的疟疾，而发生了变化。另外，随着人类学会驯化母牛，并开始喝牛奶，人类直到最近才进化出消化乳糖的酶。人类在适应由农业革命带来的食物的过程中也发生了相应的变异。此外，人们仍然在选择与身体健康的人交配，因此，不适合的基因也会在进化过程中被消除。然而，这些变异都不会改变我们的基本体型，也不会提升我们的大脑容量。（现代科技也在某种程度上影响着我们的进化。例如，对于近视眼人群就不存在任何自然选择的压力，因为，今天每个人都可以戴上框架眼镜或隐形眼镜。）

大脑的物理学

因此，从进化和生物学的角度说，进化已经不再选择更聪明的人了，至少没有几千年前那样快了。

物理学定律也似乎表明，人类已经到达了智力进化的最大自然极限，因此，提升人类智力只能从外部进行。研究大脑神经学的物理学家得出的结论是，有一种“平衡预防机制”（trade-offs preventing）使我们无法再提升智力。我们每次有希望得到更大、或更致密、或更复杂的大脑时，就会遭遇这种负面的平衡制约。

可以适用于大脑的第一个物理学原理是物质和能量守恒，即规定一个系统中的总物质和总能量恒定不变的法则。尤其对大脑而言，它要完

成各种不可思议的大脑任务，就必须节约能量，因此，它制造出许多捷径。我们在第1章中讨论过，我们的眼睛所看见的东西事实上是拼凑起来的，其中发挥作用的正是节能机制。对每次危机都进行完整的分析要花去太多的时间和能量，因此，大脑就以情感的形式进行跳跃式的判断，从而达到节约能量的目的。遗忘是节省能量的另外一种方法。有意识的大脑只能调用影响大脑的非常微小的一部分记忆。

所以，当下的问题是：提升大脑容量或增加神经元的密度是否会使我们更聪明？

也许不会。剑桥大学的西蒙·劳克林（Simon Laughlin）博士说："大脑皮层灰质神经元与轴突一起工作，而轴突已经相当接近物理极限。"用物理规律提升人类智力有好几种方法，但每一种都有着自身的问题：

· 我们可以提升大脑的容量，增加神经元的长度。这里的问题是，在这种情况下大脑会消耗更多能量，在此过程中会产生更多热量，这对于我们的生存是有害的。如果大脑消耗更多能量，进而发热，那么人体组织就会因为体温太高而受到损伤。（人体的化学反应和新陈代谢都要求人体温度必须在一定范围内。）另外，更长的神经元也意味着信号在大脑中传递需要更长的时间，这会使整个思维过程的速度下降。

· 我们可以把神经元变得更薄，从而能够在同一空间放进更多的神经元。但如果神经元越来越薄，那么在轴突中进行的复杂化学反应/电反应就会失败，最后导致神经元更容易错误释放。道格拉斯·福克斯（Douglas Fox）在《科学美国人》中写道："神经元用以生成电脉冲的蛋白质称为离子通道，其本身是不稳定的：你可以把它作为所有限制的来源。"

· 我们可以把神经元变得更厚，从而提升信号传递的速度。但这也会增加能量的消耗，散发出更多热量。这还会增加大脑的体积，进而延长信号达到目的地所用的时间。

· 我们可以在神经元之间建立更多的连接。但这仍会增加能量的消耗和热量的释放，从而使大脑变得更大，而运行得更慢。

可以看到，每次我们要改变大脑，我们就会遇到障碍。物理规律似乎表明，我们已经达到了人类智力本身所能达到的最大值。除非人类的脑容量突然增大，或者神经元的本质发生改变，不然，我们似乎已经达到了智力的最高水平。如果我们要提升智力，这就必须通过提升大脑效率的方式（通过药物、基因，还可以使用类似经颅电磁刺激式的机器）来进行。

总之，未来几十年我们也许可以用基因疗法、药物以及电磁设备提升自己的智力。有几种研究路径在揭示着智力的奥秘以及我们如何改变和提升智力。但如果我们提升了智力，获得“大脑增强”，这又对社会有什么用呢？由于基础科学的飞速发展，道德学家已经非常严肃地思考这个问题了。他们最大的担心是社会将出现分化，只有富人和有权势的人可以享用这项技术，而这项技术会使他们显赫的社会地位得到进一步巩固。同时，穷人因无法提升自己的大脑能力，这会使他们更难以提升自己的社会地位。

这当然是值得关注的，但技术发展的历史与这种担心完全不同。过去的很多技术在开始时的确只由权贵阶层享用，但大规模生产、竞争、发达的运输以及技术本身的革新，最终使技术成本下降到普通人能够负担。（例如，我们现在享用着一个世纪前英国国王都无法享用的早餐，而我们对此总是想当然。技术使我们在任何一个超市都能买到精美的食物，维多利亚时代的贵族看到这一点都会无比羡慕。）所以，如果提升智力得以实现，那么这项技术的价格会逐渐降低。技术从来没有被少数权贵所垄断。人类的聪明才智、艰苦努力以及市场力量本身迟早会降低技术的价格。

还有人担忧，人类会分裂成期望提升智力的一群人和选择保持原状的一群人，这会造成智力超群的阶层对普通大众进行压迫的噩梦般的局面。

但即便在这种情况下，对提升智力的恐惧也许有些被夸大了。普通人对求解黑洞的张量方程绝对没有任何兴趣；普通人会觉得掌握超空间维度的数学或量子理论的物理学并没有什么好处。相反，他们会认为这些活动十分枯燥无益。所以，即便我们都有机会成为数学天才，我们中的多数人也不会这么做，因为这不符合我们的秉性，我们看不到这么做有什么好处。

应该记住，我们的社会中已经有了一批颇有成就的数学家和物理学家，但他们的薪酬要比一般的商人少得多，他们的权力要比一般的政客小得多。极高的智商并不是获取财富的保证。事实上，极高的智商会使你在一个更重视体育健将、影视明星、笑星和娱乐艺人的社会里处在比较低的阶层。

从来没有人因为研究相对论而发财。

此外，具体哪些品质得到增强也十分重要。除数学外，智力还有其他表现形式。（有人认为，智力还包括艺术天赋。这种能力使人能够舒适地生活。）

焦虑的高中生家长可能希望提高自己孩子的智商，因为他们要复习准备标准化考试。但我们看到，智商并不一定对应着成功。同样，也有

人希望提高自己的记忆力，但我们也看到特才的例子，他们所拥有的照相式记忆既是一种恩赐，又是一种诅咒。在两种情况中，提升智力都不太可能造成社会分裂。

但社会作为一个整体可以从这项技术中受益。智力得到提升的工人可以更好地应对持续变化的就业市场。对于社会而言，为将来的工作重新训练工人所造成的压力会更小。另外，公众对于将来重大的科技事件可以作出更全面的抉择（例如气候变化、核能、宇宙探索），因为他们会更好地理解这些复杂的事件。

这项技术还有助于提供公平的机会。今天，那些上私立贵族学校，有私人辅导的儿童，他们对就业有着更充分的准备，因为他们有更多机会掌握复杂的内容。但如果每个人的智力都得到提升，社会断层线就被弭平。这样，一个人能在社会中走多远将只与他们的动力、抱负、想象力以及机智有关，而与他们是否生在富贵之家无关。

另外，提升智力还有助于技术革新。智力的提升将意味着模拟未来能力的提高，这对于科学发现来说非常宝贵。通常，科学会因为缺乏能够刺激新的研究路径的观点而在某个地方停滞不前。拥有了模拟未来各种可能情况的能力，将会极大地提高科学突破发生的频率。

而这些科学发现又会滋生新的产业，为整个社会带来财富，建立新的市场，创造新的就业机会，带来新机遇。历史上充满了这种例子，技术突破催生全新产业，造福全体社会，而非某几个人（比如晶体管和激光，它们已经成为当今世界经济的基础）。

然而，科幻小说中总是反复出现这样的故事，一个超级罪犯，他凭借超常的大脑能力，进行一系列犯罪，与超级英雄为敌。每个超人的对面都站着一个莱克斯·卢瑟（Lex Luthor），每个蜘蛛侠的对面都有一个绿魔头（Green Goblin）。罪犯当然可能会提升自己的大脑，从而制造出超级武器，密谋世纪罪行，但要意识到，警察也会提升大脑能力去战胜邪恶力量。也就是说，当拥有超级大脑的人只是这些罪犯时，才会有危险性。

到目前为止，我们考察了通过心灵感应、心灵遥感、上传记忆以及大脑增强等方式提升或改变我们大脑能力的可能性。这些增强方式基本上意味着改变和增强我们意识的心理能力。这里有一个潜在假设：我们所拥有的正常意识是仅有的意识。但我想讨论一下是否还有其他形式的意识存在。如果存在，就会有其他思维方式，从而导致完全不同的结果。在我们的思想中还存在着一些意识发生改变的状态，比如：梦，由药物引起的幻觉以及精神疾病，还有机器人意识这种非人类的意识，甚至是来自外太空的外星人意识。我们必须放弃人类意识是唯一的意识存在这种自大观念。构建世界模型的方法不止一种，模拟世界未来的方法也不止一种。

比如，梦是最古老的意识形式之一，古代很多人研究过它，但直到现在才取得了一些进展。也许，梦并不是睡着的大脑随机拼接起来的愚蠢事件，而是能够使我们了解意识的意义的现象。梦也许是打开意识变更状态的一把钥匙。

第三部分　改变的意识

BOOK III

A LTERED CONSCIOUSNESS

7　在你的梦中

未来属于相信梦之美的那些人。

——埃莉诺·罗斯福（**Eleanor Roosevelt**）

梦可以决定命运。

也许，古代最著名的梦发生在公元312年。那一年，罗马帝国的皇帝君士坦丁参加了平生非常重要的一次战役。面对数量两倍于自己的敌军，他意识到自己第二天很可能在战场上死去。但在前一天的梦中，一个天使出现在他面前，手持十字架，意味深长地说道："凭此徽章，你将胜利。"于是，他立即命令把部队的盾牌镶嵌上十字架徽章。

历史记载，第二天他取得了胜利，巩固了他对罗马帝国的统治。他发誓要向这种还籍籍无名的宗教——基督教——报恩。之前的罗马帝国皇帝已经迫害基督教长达几个世纪，基督教徒常被扔进斗兽场喂狮子。他签署了法律，最终为基督教成为罗马帝国（这个世界上最伟大的帝国之一）的官方宗教奠定了基础。

千百年来，自王侯将相至下里巴人无不对梦怀有好奇之心。古人把梦看作未来的预兆，因此历史上有着数不清的解梦的故事。《圣经·创世纪41》记载了约瑟发迹的故事，在几千年前他正确地解释了埃及法老的梦。法老梦到七只肥牛后面跟着七只瘦牛，他十分困惑，找来整个王国的文士和术士来阐明这个梦的含义。这些人都没能给出令人信服的解释，最后只有约瑟说出这个梦意味着埃及将有七年丰收，之后是七年干旱和饥荒。因此，约瑟说，埃及必须现在就开始储存粮食和物资，以备日后之困顿。当这一切果然发生时，约瑟被立为先知。

长久以来，人们把梦与预兆联系在一起，但在近世，梦也因激励科学发现而为人所知。药剂师奥托·勒维（Otto　Loewi）在梦中获得了神经递质能够促进信息通过突触的想法，这成为了神经科学的基础。同样，奥古斯特·凯库勒（August　Kekulé）在1865年做了一个关于苯的梦。在梦中，苯的碳原子构成一个链条，首尾相接，形成环状，就像一只咬着自己尾巴的蛇。这个梦揭示了苯分子的物质结构。他最后说："让我们学习做梦吧！"

梦还被视作理解我们真实思想和意图的窗口。文艺复兴时期的伟大作家、散文家米歇尔·德·蒙田（Michel de Montaigne）写道："我相信梦是我们好恶的真实反映，但厘清并理解梦是一门学问。"后来，西格蒙德·弗洛伊德（Sigmund　Freud）提出了解释梦的起源的理论。在他的代表作《梦的解析》（The Interpretation of Dreams）中，他提出梦是我们

潜在欲望的表达，当我们清醒时，这些欲望通常受到心灵的压制；当我们睡觉时，它们被释放出来。梦并不是我们活跃的想象中的随机片断，它能够揭示关于我们自己的深层秘密和真相。“梦是通向无意识的皇家大道。”他如此形容。自此之后，人们汇集了各种各样的观点，都宣称用弗洛伊德的理论揭示了令人不安的画面背后所隐藏的含义。

好莱坞也利用了我们对梦的持续好奇。很多电影都喜欢用这样一个画面：主人公出现在一连串令人毛骨悚然的梦境中，然后在冷汗淋漓中突然惊醒。在电影大片《盗梦空间》（Inception）中，莱奥纳多·迪卡普里奥（Leonardo DiCaprio）饰演的小偷从梦这个最不可能的地方盗取秘密。利用一种新的发明，他能够进入人们的梦境，骗取他们交出财产秘密。公司花费上百万美元保护商业机密和专利，亿万富翁们费尽心机地用复杂的密码保护财富，而他的工作就是盗取这些秘密。当罪犯进入睡觉做梦人的梦境中时，阴谋计划就很快升级了。于是，这些罪犯不断地深入到多层潜意识中。

尽管梦一直困扰和迷惑着我们，但科学家们仅仅在过去10年左右的时间里已经揭开梦的奥秘。事实上，科学家们现在所做的一些事曾经被认为是不可能的：他们可以用磁共振成像（MRI）仪拍下梦的模糊图像和影像。也许有一天，你可以通过观看自己昨夜的梦的视频了解自己的潜意识。也许，经过适当的训练，你可以有意识地控制自己梦的样子。或许，你甚至可以利用先进的技术像迪卡普里奥所扮演的角色那样进入别人的梦境里。

梦的本质

尽管梦是神秘的，但梦并非是多余的奢侈品，更非大脑空闲下来产生的无用思想。事实上，梦对于生存至关重要。大脑扫描可以告诉我们某些动物也有类似梦一样的大脑活动。如果不让这些动物做梦，它们死去的速度通常要比因饥饿而死去的速度快，因为没有梦会严重地打乱它们的新陈代谢。不过科学还无法确切解释为什么会这样。

做梦也是我们睡眠循环的一个重要特征。我们晚上睡觉时，大约有两个小时在做梦，每个梦持续5～20分钟。在我们一生的时间中，平均有6年在做梦。

梦也是整个人类物种的普遍现象。科学家们在不同的文化中发现了类似的梦的主题。心理学教授卡尔文·霍尔（Calvin Hall）在40年的研究中记录了5万个梦，后续又从大学学生那里得到了1 000个梦的报告。不出意外，他发现大部分人的梦是相似的，比如前一天或上个星期的个人经历。（然而，动物做梦的方式与我们明显不同。例如，海豚睡觉时只有一个大脑半球入睡，以防溺水，毕竟它们不是鱼，而是呼吸空气的哺乳动物。所以它们的梦很可能只在一个大脑半球中进行。）

正如我们看到的，大脑并不是一台数字计算机，而是某种神经网络，在学习到新技能后不断重构。致力于研究神经网络的科学家发现了一些有趣的事。这些网络系统在过量的学习之后经常会饱和，不再继续处理信息，而是进入“梦境”的状态。在这种状态下，当神经网络试图消化新材料时，随机的记忆有时会漂移并结合在一起。因此，梦就像“打扫房间”，大脑在梦的状态下试图用更连贯的方式组织记忆。（如果这是真的，那么所有神经网络，包括所有具有学习能力的生物体，都可能进入梦的状态进行记忆清理。所以梦很可能有其目的性的。一些科学家推测，这可能意味着能够从过去的经历中进行学习的机器人最后也会做梦。）

神经学研究似乎支持这一结论。研究表明，在活动和测验之间加入充足的睡眠可以改善记忆力。神经成像显示，睡眠时激活的大脑区域与学习新技能所涉及的大脑区域相同。做梦也许对于巩固新信息有所帮助。

另外，一些梦能够将睡眠前几个小时发生的事件纳入其中。但多数梦会涉及几天前的记忆。例如，实验表明，如果给一个人戴上玫瑰色的眼镜，他的梦境在几天后才会呈现玫瑰色。

梦的大脑扫描

大脑扫描正在揭示梦的某些奥秘。正常情况下，当我们清醒时，脑电波扫描会显示大脑释放出稳定的电磁波。但当我们逐渐入睡时，我们的脑电波信号的频率开始改变。最后当我们做梦时，从脑干发出的电能波急剧升高，上升到大脑的皮层区域，特别是视觉皮层。这说明视觉图像是梦的重要部分。最后，我们进入梦的状态，我们脑电波的典型表现是快速眼球运动（REM）。（由于一些哺乳动物也进入快速眼球运动睡眠［REM sleep，又称“快波睡眠”］，我们可以推测它们也可能做梦。）

在大脑的视觉区域表现活跃的同时，其他涉及嗅觉、味觉和触觉的区域基本关闭。身体处理的几乎所有图像和感觉都由自我生成，它们来自于我们脑干中的电磁振动，而非来自外部刺激。整个身体基本与外界隔绝。另外，当我们做梦时，我们几乎处于瘫痪状态。（也许，这种瘫痪是为了防止我们把自己的梦付诸实施，一旦实施就可能是灾难性的。大约6%的人患有“睡眠瘫痪”紊乱症，他们从睡梦中苏醒后仍处于瘫痪状态。通常，这些人醒来时感到惊恐，认为自己被捆住了手脚。维多利亚时期的油画中有这样的画面，妇女从睡梦中醒来，发现一个面目可憎的妖怪站在自己胸口上，怒视着自己。一些心理学家认为，睡眠瘫痪能够解释外星人绑架综合征的来源。）

在我们做梦时海马体保持活跃，这说明梦调用了我们的记忆存储。杏仁核和前扣带也是活跃的，这意味着梦可能高度情绪化，经常伴随恐

惧。

但更有启发性的是大脑中那些关闭的区域，包括背外侧前额叶皮层（大脑的指挥中心）、眶额叶皮层（用于审查或事实核查）和颞顶区（处理知觉运动信号和空间意识）。

当背外侧前额叶皮层关闭时，大脑不能进行理智的筹划。这样，我们在梦中漫无目的地游荡，视觉中枢为我们提供图像，不受理智的控制。眶额叶皮层或事实核查区同样处于不活跃状态。因此，梦可以自由地发展，不受物理规律或常识的束缚。利用眼睛和内耳信号帮助我们协调方位感的颞顶叶也同样关闭，这解释了我们做梦时灵魂出窍的体验。

正如我们所强调的，人类的意识主要表现为大脑不断地构建外部世界的模型和模拟进入未来。这样，梦就代表了模拟未来的另一种方式，在这种方式中自然规律和社会交往互动都暂时停止。

我们怎样做梦？

然而，这留下一个问题：是什么生成了我们的梦？世界梦研究权威之一，哈佛大学医学院的精神病学家艾伦·霍布森（Allan Hobson）博士几十年致力于解开梦的奥秘。他认为，梦，特别是“快速眼动”（REM）睡眠（即“快波睡眠”），可以在神经学层面进行研究，当大脑试图理解脑干发出的基本上是随机的信号时就产生了梦。

在我对他的采访中，他告诉我通过几十年来对梦的分类记录，他发现了5个基本特点：

1.强烈的情感——这是由于杏仁核的激活，引起了诸如恐惧的情感。

2.不合逻辑的内容——不管逻辑怎样，梦可以快速地从一个场景转换为另一个场景。

3.明显的知觉印象——梦可以给我们虚假的感觉，这些感觉由内部生成。

4.对梦境事件不加辨别地接受——我们不加辨别地接受不合逻辑的梦。

5.难于记忆——在醒来几分钟之内，梦很快被忘记。

霍布森博士与罗伯特·麦卡利（Robert McCarley）博士一起提出了“激活整合理论”（activation synthesis theory），是对弗洛伊德梦的

理论的第一个正式挑战，创造了历史。1977年，他们提出梦来源于脑干发出的随机神经信号，这些信号进入大脑皮层，而大脑皮层试图理解这些随机信号。

梦的关键在于脑干中的节点。脑干是大脑中最古老的部分，它释放出被称为肾上腺素的特殊化学物质，能够使我们保持清醒。当我们入睡时，脑干激活另外一个系统——胆碱能系统，它释放出的化学物质使我们进入梦的状态。

当我们做梦时，脑干中的胆碱能神经元开始工作，释放出不稳定的电能脉冲，称为PGO波（桥脑-膝状体-枕叶波，pontine-geniculate-occipital waves）。这些波经过脑干进入并刺激视觉皮层，使其制造梦境。视觉皮层中的细胞每秒进行成百上千次的不规则共振，这有可能是梦有时并不连贯的原因。

这个系统释放的化学物质还能将大脑中控制理智和逻辑的部分分离开。没有了来自前额叶皮层和眶额叶皮层的核查，加之大脑对游离的思想变得极度敏感，这就可以解释梦的光怪陆离的性质。

研究表明，在不做梦时也可以进入胆碱能状态。阿肯色大学的埃德加·加西亚-里尔（Edgar Garcia-Rill）博士宣称，冥想、忧虑或被放置于一个隔离箱内都会引起这种胆碱能状态。那些连续多个小时面对着一成不变的挡风玻璃的飞行员和司机也有可能进入这种状态。他在研究中发现，精神分裂症患者的脑干中的胆碱能神经异常地多，这可以说明他们的某些幻觉。

为使研究更有效率，艾伦·霍布森博士让受试者戴上一种可以在梦的过程中记录数据的特殊睡帽。睡帽上连接的一个传感器记录下头部的运动（因为当梦结束时通常会发生头部运动），另一个传感器测量眼睑的运动（因为快速眼动［REM］睡眠会使眼睑发生运动）。当受试者醒过来时，他们立即记录下梦到的事情，并把睡帽提供的信息录入电脑。

霍布森博士用这种方法积累了关于梦的大量信息。因此，我问他梦的意义是什么？他并不理会被他称之为“幸运饼干解梦的神秘”，因为他不认为梦的宇宙中有什么隐藏的意义。

相反，他认为在PGO波（桥脑-膝状体-枕叶波）从脑干进入皮层区域后，皮层试图理解这些奇怪的信号，最后得出一种对这些信号的表述：一个梦。

为梦拍照

过去，多数科学家都不愿意研究梦，因为它们太主观，总是与术士和巫师相联系。但现在有了磁共振成像（MRI）扫描，梦的奥秘开始呈现出来。事实上，由于控制梦的大脑区域几乎等同于控制视觉的大脑区

域，因此完全有可能为梦拍照。在日本京都，高级电信研究所（ATR）计算神经科学实验室的科学家进行了这项开创性的工作。

首先将受试者置于磁共振成像（MRI）机中，让他们观看400张黑白图像，每张包含一组在10×10像素框架内的点。每放映一张图像，MRI就记录下大脑对该像素组的反映。与脑-机接口（BMI）领域的其他团队一样，这些科学家最后绘制了大量的图像，每个图像对应一个特殊的MRI形态。这里，科学家们可以进行反向研究，从对受试者做梦时的MRI大脑扫描中正确地重建那些自生的图像。

ATR（高级电信研究所）首席科学家神谷之康（Yukiyasu Kamitani）说："这项技术也可以应用到视觉以外的其他的感觉。未来，还可能阅读情感和复杂的情绪状态。"事实上，只要建立起与给定心智状态对应的MRI扫描图谱，大脑的任何心智状态都可以通过这种方式进行成像，包括梦。

京都的科学家们致力于分析心灵生成的静态图像。在第3章，我们看到由杰克·加兰特（Jack Gallant）博士开创的一种相似的方法，他用一种复杂的方程，从大脑3D磁共振成像（MRI）扫描出的立体像素中重建眼睛所看到的真实图像。用类似的技术，加兰特博士和他的团队可以粗略地构建原始梦的影像。在参观伯克利的实验室时，我与一位博士后员工，西本真治（Shinji Nishimoto）博士进行了交谈，他让我观看了他自己梦的一段影像，这是有史以来第一批梦的影像之一。我看到一连串人脸从电脑屏幕上闪过，这说明受试者（也就是西本博士自己）梦见的是人，而不是动物或物体。这真是太奇妙了。不过这项技术还不够完善，无法看到梦中人物的准确面部特征。因此，下一步要做的是提高像素以获得更为复杂的图像。另外一个方向是用彩色图像代替黑白图像。

我之后问了西本博士一个关键性的问题：你如何确定影像是精确的？你怎么知道这些不是机器本身制造的产物？他有些羞怯地回答说，这是该项研究中的薄弱环节。一般情况下，当你醒来后只有几分钟的时间去记录梦。之后，大部分梦都会消失在我们意识的迷雾中，因此，验证这些结果并不容易。

加兰特博士告诉我，记录梦境影像的研究还在进行中，这是还不能予以发布的原因。距离我们能看到昨天夜里的梦还有很长的路要走。

清醒梦

科学家们还研究了一种曾经被认为很神秘的一种梦：清醒梦，在神志清醒状态下做的梦。这在字面上看好像有些矛盾，但这种梦得到了大脑扫描的验证。在做清醒梦时，做梦的人知道自己在做梦，而且能够有意识地控制梦的发展方向。虽然科学直到最近才开始进行清醒梦的实验，但这种现象在几个世纪前已被提及。例如，佛教的一些典籍就提到

了清醒梦者，并教授了训练自己成为清醒梦者的方法。在几个世纪时间里，欧洲有几个人详细地记载了自己的清醒梦。

清醒梦者的大脑扫描显示这种现象真实存在。在快速眼动（REM）睡眠中，他们的背外侧前额叶皮层是活跃的，而正常人做梦时该区域通常处于休眠状态，这说明做梦的人处于部分清醒状态。事实上，梦越是清晰，背外侧前额叶皮层就越是活跃。由于背外侧前额叶皮层是大脑中与清醒意识相关的部分，这些人在做梦时肯定是有意识的。

霍布森博士告诉我，所有人都能通过特定练习学会做清醒梦。具体而言，做清醒梦的人应该记录下自己的梦。在入睡前，他们应该提醒自己会在梦的进行中“醒来”，并发现自己存在于梦的世界中。在睡前保持这种想法十分重要。因为在快速眼动（REM）睡眠中人体基本处于瘫痪状态，做梦的人很难向外界发出自己已经进入梦境的信号。不过斯坦福大学的斯蒂芬·拉伯奇（Stephen LaBerge）博士研究了一些可以在做梦时向外界发出信号的清醒梦者（包括他自己）。

2011年，科学家第一次利用磁共振成像（MRI）机和脑电图（EEG）传感器探知了梦的内容，甚至与正在做梦的人进行了沟通。在慕尼黑和莱比锡的马克斯·普朗克研究所里，科学家们招募了清醒梦者，在他们头上装上脑电图传感器，来确定进入快速眼动睡眠的时刻，然后将他们置于MRI机中。在入睡前，这些梦者同意做梦时启动一套眼部活动和呼吸模式，像一个摩尔斯电码。科学家告诉他们，当他们开始做梦时，他们应该先握紧右拳，然后紧握左拳10秒钟。这就是他们在做梦的信号。

科学家们发现，受试者进入梦的状态后大脑知觉运动皮层（负责控制运动行为，如紧握拳头）立即被激活。MRI扫描探知拳头的确被握紧，并且知道哪只拳头先被握紧。然后，另一个传感器（一种近红外光谱仪）确认了控制运动的大脑区域的活动开始增加。

“我们的梦并不是一部‘睡眠电影’，我们不仅仅是事件的被动观察者，做梦时活动的大脑区域与梦的内容相关，” 马克斯·普朗克研究所团队的负责人迈克尔·齐施奇（Michael Czisch）说。

进入梦境

如果我们能够与做梦的人交流，那么是否有可能从外部改变别人的梦呢？很有可能。

首先，我们看到，科学家们已经在记录梦的影像方面迈出了第一步，在未来几年，我们很可能得到更为精确的梦的图像和影像。既然科学家们已经能够在清醒梦者的真实世界和幻想世界之间建立起联系，那么理论上，科学家可以有意识地改变梦的走向。假设科学家正在通过磁共振成像机实时地观看一部展开中的梦的影像。随着做梦人在梦境中游

荡，科学家能够识别出他走向哪里，并能够对他发出指令，使其改变方向。

因此，在不远的将来，我们也许可能观看梦的影像并真的改变梦的大致方向。但在电影《盗梦空间》中，莱奥纳多·迪卡普里奥能做得更多。他不仅能观察另外一个人的梦，而且能进入这个梦中。这可能吗？

我们之前看到，做梦时我们是瘫痪的，这样我们就不能把自己的梦中幻想付诸实施，实施它们有可能是灾难性的。然而，梦游的人通常眼睛是张开的（虽然他们的眼睛有些呆滞），梦游者处于一种混合的世界中，部分是真实的，部分是梦境。很多实例记载了人们在现实和幻想混合之中游荡的例子，一些人在自己的房子周围散步，一些人开车、伐木，甚至还有人自杀。因此，眼睛看见的真实的物理世界很可能可以与睡梦时大脑中的虚幻世界自由互动。

这样，让受试者戴上能够将画面直接投射到视网膜的隐形眼镜，用这种方法可能可以进入他人梦境。西雅图的华盛顿大学已经着手开发互联网隐形眼镜的原始模型。如果一个观察者想进入受试者的梦境，那么他应先坐进一间工作室，由一架摄影机对他录像。然后，他的图像投射到做梦人的隐形眼镜上，构成一种复合的画面（观察人的图像加在大脑生成的幻想画面之上）。

当观察者在这个梦的周围徘徊时，他真的能够看到这个梦的世界，因为他也可以戴上互联网隐形眼镜。受试者梦境的MRI图像经过计算机的解码后可以直接投射到观察者的隐形眼镜上。

另外，你甚至可以改变所进入的梦的发展方向。当你在空空的工作室中四处走动时，你可以从隐形眼镜上看到梦的展开，这样你就可以与梦中出现的物体和人物进行互动了。这种经历肯定很奇妙，因为背景会毫无征兆地发生变化，图像毫无原因地出现或消失，物理规律在这里不再适用。什么事情都可能发生。

在更远的未来，甚至能够通过直接连接两个沉睡的大脑，进入另外一个人的梦境。每个大脑都与磁共振成像（MRI）扫描仪相连，而MRI连接在中心计算机上，可以将两个梦合并为一个。首先，计算机将两个人的MRI扫描结果解码为视频影像。然后，将一个人的梦传输到另一个大脑的知觉区域，这样，后者的梦就能与第一个人的梦合并了。然而，这一切成为可能须依赖于先进的梦的造影和解释技术。

但这引起了另外一个问题：如果改变一个人的梦是可能的，那么除了控制一个人的梦之外，控制一个人的心灵是否可能呢？在冷战期间，苏联和美国进行着一场生死较量，这个问题变得十分严肃，双方都试图用心理学技术控制对方的意志。

8　心灵能被控制吗？

心灵只是大脑的所作所为。

——马文·明斯基（**Marvin Minsky**）

西班牙的科尔多瓦，一头愤怒的公牛被放进空荡荡的竞技场中。这种暴戾的牲畜经过历代的精心培育，它的杀手本性越发彰显。接着，耶鲁大学的一位教授沉着地走进了同一个竞技场。他没有穿花呢夹克，而是穿上了斗牛士的亮金色夹克，他在公牛面前挑衅地挥舞着红色的斗篷，不断刺激着公牛。这位教授没有仓皇逃脱的意思，他镇定、自信，甚至有些超然。在旁观者眼里，教授肯定疯了，想自杀。

愤怒的公牛盯住了教授。突然，公牛开始冲锋，致命的牛角瞄准了教授。教授没有恐惧地跑开。他手里拿着一个小盒子。在摄像机前，他按下盒子上的一个按钮，公牛立即停下冲锋，站着不动了。这位教授如此自信，他冒着生命危险为的是说明，他掌握了控制疯牛心灵的技术。

这位耶鲁大学教授是何塞·德尔加多（José Delgado）博士，他领先了自己的时代很多年。他在20世纪60年代进行了一系列令人瞩目又令人不安的动物实验。在这些实验中，他把电极放入动物的大脑中，目的是控制它们的活动。为使公牛停下来，他把电极插入位于公牛大脑底部的基底神经节纹状体中，这个部位涉及运动协调。

他还用猴子做了其他一系列实验，研究是否能通过一个按钮就能改变它们的种群等级结构。他在种群阿尔法雄性（alpha male，雄性首领）的尾状核（与运动控制有关的区域）植入电极，降低了它的攻击倾向。种群中的德尔塔雄性（delta males，普通雄性成员）开始宣示自己的权利，夺走通常情况下只能由阿尔法雄性（首领）享有的势力范围和特权，而且没有会受到报复的迹象。同时，首领似乎失去了保卫自己势力范围的兴趣。

之后，德尔加多博士按下另一个按钮，猴子首领立即回到正常状态，恢复攻击本性，重新建立它作为山大王的权力。种群中的德尔塔雄性成员则恐惧地四散奔逃。

德尔加多博士是历史上发现可以用这种方法控制动物心灵的第一人。他成了牵线木偶大师，控制着手中活生生的木偶。

不出所料，整个科学界对德尔加多博士的研究感到不安。更糟的是，他在1969年写了一本具有挑衅性的书，《心灵的心理控制：走向心理文明社会》（Physical Control of the Mind: Toward a

Psychocivilized Society）。这引出了一个令人不安的问题：如果像德尔加多一样的科学家在牵着木偶的线，那么谁来控制这些木偶大师呢？

德尔加多博士的研究让我们清晰地看到这项技术的广阔前景和危险性。如果落入肆无忌惮的独裁者手中，这项技术可能会被用来欺骗和控制那些不幸的臣民。但它也能用来解救千百万饱受精神疾病之苦的人们，他们被幻想所困扰，有些被焦虑压垮了。（几年后，记者问德尔加多博士为什么进行这些有争议的实验。他说，他想结束精神病人受到的骇人听闻的不公正对待。他们通常会被做极端的脑叶切除手术，像冰锥一样的手术刀从眼眶上部凿进大脑，搅碎前额叶皮层。结果总是悲剧性的，其中一些恐怖场景可以在肯·凯西［Ken　Kesey］的小说《飞越疯人院》［One Flew Over the Cuckoo's Nest］中找到，这部小说拍成了电影，由杰克·尼科尔森（Jack　Nicholson）主演。一些患者变得沉静、放松，但其他许多患者成了僵尸：他们嗜睡，对痛苦和感情毫无反应，没有任何情感。这种治疗方式在当时十分普遍，在1949年，安东尼奥·莫尼斯［Antonio　Moniz］甚至因改进脑叶切除手术获得了诺贝尔奖。具有讽刺意味的是，苏联在1950年禁止了这项技术，认为"它违反了人类的准则"。苏联人控诉道，脑叶切除手术将"疯狂的人变成傻子"。总体说来，在20多年的时间里仅在美国就进行了4万例脑叶切除手术。）

心灵控制与冷战

德尔加多博士的研究受到冷遇的另一个原因是当时的政治环境。当时是冷战最激烈的时期，朝鲜战争中被俘美国士兵游街示众的镜头还痛苦地留在人们心中。这些人神色茫然，他们会承认自己执行了秘密特务行动，为可怕的战争罪行忏悔，并且谴责帝国主义美国。

为了解释这一切，媒体用了"洗脑"这个词，意思是对手开发了秘密的药物和技术，把士兵变成顺从的僵尸。在这种气氛紧张的政治环境下，法兰克·辛纳屈（Frank Sinatra）出演了1962年的冷战恐怖片《谍影迷魂》（The Manchurian Candidate）。在影片中，他试图揭开一个华约阵营的"睡眠"特工企图刺杀美国总统的阴谋。这里有个曲折的故事。刺客本来是一个备受信赖的美国战争英雄，他被华约阵营抓去，然后被洗脑。这位特工出身名门，没人会怀疑他，他几乎无可阻挡。《谍影迷魂》映射了当时许多美国人的内心焦虑。

奥尔德斯·赫胥黎（Aldous　Huxley）写于1931年的预言小说《美丽新世界》（Brave　New　World）更加煽动了这种恐惧情绪。在这部反面乌托邦小说中，大型的试管婴儿工厂制造出克隆人，通过有选择地停止胎儿的氧气供应，制造出大脑受到不同程度损伤的婴儿。处于最高等级的被称为阿尔法，他们的大脑没有受到伤害，被培育出来管理社会。处于最低等级的被称为艾普西隆，他们遭受了严重的大脑损伤，是可替代的、顺从的劳动者。处于他们之间的人成为其他劳动者和官僚。精英阶层通过改变心灵的药物、自由性爱和不断的洗脑来控制社会，确定社会

的和平、安宁与和谐。但小说提出了一个至今还在争论的问题：在和平和社会秩序的名义下，我们愿意牺牲多少自由和基本的人性呢？

中央情报局的心灵控制实验

冷战的歇斯底里最终在中央情报局那里达到登峰造极。中央情报局确信苏联人在洗脑科学和非正统科学方法方面遥遥领先，于是他们启动了各种秘密项目，如MKULTRA（心灵控制实验计划）。这个项目探索光怪陆离的、极端的想法。（1973年，水门丑闻给整个美国政府带来了恐慌，中情局局长理查德·赫尔姆斯（Richard Helms）取消了MKULTRA项目，并立即命令销毁与之有关的所有文件。幸运的是有2万份文件不知何故逃过了这场清理，并在1977年按《信息自由法》予以解密，从而将这个宏大的项目公之于众）。

现在，人们知道从1953—1973年，心灵控制实验计划（MKULTRA）在150次秘密行动中，资助了80个研究所，包括44所大学和学院、几十家医院和制药公司以及监狱，常在未经同意的情况下对毫不知情的人进行实验。中央情报局一度有整整6%的预算都流入了MKULTRA。

下面是这些心灵控制计划的一部分：

· 开发可以让犯人说出秘密的“真话血清”。

· 通过称为“子项目54”的美国海军的删除记忆项目。

· 利用催眠术和一系列药物，特别是LSD（迷幻药），控制行为。

· 研究针对外国领导人（如菲德尔·卡斯特罗［Fidel Castro］）使用心灵控制药物的方法。

· 改进一系列审讯犯人的方法。

· 开发不留痕迹的快速致幻药物。

· 通过药物改变人们的性格，使其更为顺从。

虽然一些科学家对这些研究的有效性提出了质疑，但另外一些科学家却欣然参与其中。来自各个领域的人受到招募，包括通灵术士、物理学家以及计算机科学家，他们研究了各式各样的非正统项目：试验改变心灵的药物，如迷幻药（LSD）；让通灵术士定位在深海巡航的苏联潜艇等。在一次不幸的事件中，一位美国陆军科学家被秘密地喂食了LSD（迷幻药）。根据一些报道，他的神智变得极度混乱，最后跳出窗

户外自杀了。

多数实验的合理性基于这样的认识：苏联人在心灵控制方面已经超过了我们。美国参议院得到另一份秘密报告说，苏联人正在进行向受试者大脑直接发送微波辐射的实验。美国非但没有谴责这种行为，而是从中看到了“开发能够使军事人员或外交人员行为混乱分裂的系统的广阔前景”。美国陆军甚至宣称，向敌人的大脑中发送完整的句子和讲话也许是可能的，“一种诱饵和欺骗的方法……是将对象置于低能脉冲微波环境中，用这种方法在他们的大脑中制造噪音。……选取适当的脉冲属性可能制造出清晰可辨的话语。……这样，与各种对手‘交谈’时就可能用一种令他们不安的方式进行了。”这份报告中说道。

遗憾的是，这些实验中没有一个接受过同行评议，成百上千万美元的税款花在了像上面这样的项目上。这些项目很可能违反了物理规律，因为人类的大脑并不能接收微波辐射，更为重要的是，大脑没有对微波信息解码的能力。开放大学的生物学家史蒂夫·罗斯（Steve Rose）博士把这种牵强的计划形容为“神经科学上的不可能性”。

这些“黑暗项目”虽然花费了成百上千万美元，却没有得到一项可靠的科学发现。改变心灵的药物的确能够使受试者产生迷乱，甚至是恐慌，不过五角大楼并没有达到其关键目的：控制他人神志清醒的心灵。

另外，根据心理学家罗伯特·杰伊·利夫顿（Robert Jay Lifton）的观点，华约阵营的洗脑技术几乎没有长期效果。在朝鲜战争中谴责美国的美国士兵多数在被释放后不久就恢复到之前的正常人格。此外，针对被邪教洗脑的人的研究也表明，他们在离开邪教后也恢复到之前的人格。因此从长远来看，一个人的基本人格似乎不会受洗脑的影响。

当然，军队并不是第一个进行心灵控制实验的组织。在古代，巫师和预言家都宣称能够利用魔法药水让被俘的士兵招供，或让他们反过来攻击自己的领袖。最早的心灵控制的方法之一就是催眠术。

你困了……

我记得自己还是孩童时看过一个专门讲催眠的电视节目。催眠师让一个人处在催眠的状态，并告诉他，当他醒来时会变成一只小鸡。当这个人在舞台上咯咯地叫唤并扑腾自己的手臂时，现场的观众发出了惊叹声。这个演示虽然有着戏剧性，但它不过是“舞台催眠”的一个实例而已。职业魔术师和表演者所写的书告诉我们，他们利用了在观众中安插的托儿和暗示，甚至有人愿意参加到这种骗局中。

我曾经担任过英国广播公司和发现频道的电视记录片《时代》的主持人，其中一集的主题是久远的记忆。通过催眠术唤起久远的记忆可能吗？如果可能，能将自己的意志强加于另一个人吗？为了验证这些想法，我自己在节目中被催眠了。

英国广播公司聘请了一位职业催眠师进行这项工作。我在一间安静而黑暗的房间里躺下。催眠师用缓慢、温和的语调对我说话，我逐渐放松下来。过了一会儿，他让我回想过去，回想这么多年后仍会出现的某个地方或某件事。之后，他让我重新进入那个地方，重新历经那里的景象、声音和气味。令人惊讶的是，我确实看到了那些几十年前就被我遗忘的地方和人的脸庞。这种感觉就像在看一场模糊的电影，慢慢地对准焦点。但后来回忆结束了。我一度想不起任何事来。很明显，催眠术有它的局限之处。

脑电图（EEG）和磁共振成像（MRI）扫描表明，在催眠中受试者的感觉皮层仅仅受到外界极其微小的感觉刺激。这样，催眠状态能够使人重新发掘某些被深埋的记忆，不过它肯定不能改变人的人性、目标或者愿望。五角大楼1966年的一份秘密文件证实了这一点，认为相信催眠术可以作为武器。这份文件中说："很重要的是，人们总是提到可以把催眠术应用到情报工作中，在这个漫长历史中，却没有一份情报部门能可靠使用的由催眠术得到的报告。"

应该注意到，大脑扫描的结果说明催眠状态并非一种新的意识状态，与梦和快速眼动（REM）睡眠不同。如果我们把人类的意识定义为不断构建外部世界的模型，然后在未来予以模拟以达成目标的过程，那么我们看到催眠并不能改变这个基本过程。催眠可以加强意识的某些方面，帮助人们获取某些记忆，但它无法在未经你同意的情况下让你像一只鸡一样咯咯地叫起来。

改变心灵的药物和真话血清

心灵控制实验计划（MKULTRA）的目标之一是制造真话血清，用来使间谍和犯人招供。虽然心灵控制实验计划在1973年被取消，五角大楼在1996年解密的美国陆军和中央情报局审讯手册中仍然推荐使用真话血清（虽然美国最高法院裁定用这种方式获得的口供是"逼供而违宪"，因此不被法庭接受）。

看过好莱坞电影的人都知道，硫喷妥钠是许多间谍所选用的真话血清（如阿诺德·施瓦辛格［Arnold Schwarzenegger］主演的《真实的谎言》［True Lies］和罗伯特·德尼罗［Robert De Niro］主演的《拜见岳父大人》［Meet the Fockers］）。硫喷妥钠只是巴比妥酸盐、镇静剂和催眠药的一种，能够避开血脑屏障，后者可以防止血液中的大部分有害化学物质进入大脑。

并不令人惊讶的是，大部分改变心灵的药物，比如酒精，由于能够避开血脑屏障，会对我们产生很大的影响。硫喷妥钠能抑制前额叶皮层活动，使人变得更为放松、多言和无所顾忌。然而，这不意味着他们会说真话。相反，受到硫喷妥钠影响的人，比如那些摄入过量的人，完全有可能说谎。这样的人吐露出的"秘密"同样可能是编造的谎话，因此，

甚至中央情报局最终也放弃了像这样的药物。

然而，这并没有排除这样的可能性：将来有一天会找到一种神奇的药物，可以改变我们的基本意识。这种药物可能通过作用于在该区域运行的神经递质，例如多巴胺、血清素或乙酰胆碱，改变神经纤维之间的突触。如果我们把突触看作高速公路上的一连串收费站，那么某些药物（如像可卡因之类的兴奋剂）就可以打开这个收费站，让信息不受阻碍地通过。瘾君子们感觉到的那种突然的兴奋就是因为这些收费站同时全部打开，雪崩一样的信号一齐涌入造成的。但当所有突触一齐释放之后，下一次释放要在几个小时之后，就像收费站都关闭了一样，这造成了兴奋之后的突然抑郁。身体对重新经历这种兴奋的渴望就成了毒瘾。

药物怎样改变心灵

在中央情报局第一次在不知情的受试者身上进行改变心灵药物的试验时，这种药物的生物化学基础还并不为人所知，不过之后人们对毒瘾的分子学基础进行了细致的研究。动物试验告诉我们毒瘾的影响有多么巨大：如果可以，大老鼠、小白鼠和灵长类动物会一直吸食可卡因、海洛因和安非他明等药物，直到它们精疲力尽或因此死亡才会停下来。

现在这是一个非常广泛的问题，到2007年，美国有1　300万12岁及以上的人（占美国青少年和成年人口的5%）吸食过冰毒，或冰毒上瘾。毒品成瘾不仅会破坏人的整个生活，而且会系统性地摧毁人的大脑。对冰毒成瘾者的大脑磁共振成像（MRI）扫描显示，负责处理感情的大脑边缘系统萎缩了11%，作为记忆通道的海马体失去了8%的组织。MRI扫描说明，这种损伤在某种程度上与老年痴呆症相当。但不管冰毒对大脑的损害有多么大，瘾君子仍然渴望得到它，因为由它引起的快感是吃一顿大餐或者做爱的12倍。

从根本上说，吸毒带来的“快感”是由于药物劫持了位于大脑边缘系统中的快感/奖励系统。这个快感/奖励回路非常原始，在进化中已有千百万年的历史，但它仍然对人类的生存十分重要，因为它能够奖励有益的行为，惩罚有害的行为。这个回路一旦被药物劫持，结果将是大面积的破坏。这些药物首先穿越血脑屏障，然后造成像多巴胺这样的神经递质的过量生成，这些递质进入伏隔核这个深藏于大脑杏仁核附近的微小的快感中枢。多巴胺由腹侧被盖区的某些脑细胞生成，这些细胞称为VTA细胞（中脑腹侧被盖区细胞）。

所有毒品的工作机制基本相同：使控制多巴胺和其他神经递质向快感中枢流动的腹侧被盖区（VTA）——伏隔核回路失灵。毒品的差异仅在于这个过程的发生方式。刺激大脑快感中枢的药物至少有三类：多巴胺类、血清素类和去甲肾上腺素类。这些毒品都能产生快感、欣喜和虚假信息，也会产生能量涌动。

例如，可卡因和其他兴奋剂有两种工作方式。第一，它们直接刺激腹侧被盖区（VTA）细胞，产生更多的多巴胺，使流入伏隔核的多巴胺过量。第二，它们阻止VTA细胞恢复到“关闭”状态，使其不断产生多巴胺。它们还会阻碍血清素和去甲肾上腺素的吸收。这些神经递质同时进入神经回路就造成了可卡因带来的极大快感。

海洛因和其他鸦片类毒品与之不同，它们使腹侧被盖区（VTA）中抑制多巴胺生成的细胞失灵，从而使VTA大量生成多巴胺。

迷幻药（LSD）类毒品的工作方式是刺激血清素的生成，引起幸福感、使命感和爱。但它们也会刺激产生幻觉的颞叶区域。（只要50微克的LSD就能产生幻觉。事实上，由于LSD的效力十分强大，再增大剂量也不会产生额外效果。）

过了一段时间，中央情报局发现，改变心灵的药物并非他们要寻找的魔力子弹。伴随这些药物的幻觉和毒瘾使它们太不稳定、不可预知，在微妙的政治环境中，这些药物带来的麻烦很可能会超过它们的好处。

（应该指出的是，在刚刚过去的几年中，对吸毒者的磁共振成像大脑扫描发现了一种可能治愈或治疗某些毒瘾的崭新方法。出于巧合，人们发现脑岛［位于大脑深处的前额叶皮层和颞叶皮层之间］受到损伤的中风患者比普通人更容易戒烟。这个结果在滥用可卡因、酒精、镇静剂和尼古丁等毒品药物的人那里也得到了验证。如果这个结果得以确立，就很可能意味着可以使用电极或磁刺激术来抑制脑岛的活性，从而达到治疗毒瘾的目的。“这是我们第一次发现这种现象，大脑特定部位的损伤会完全解决毒品上瘾问题。真是令人难以置信。”诺拉·沃尔科夫［Nora Volkow］博士说道，她是国立药物滥用研究所的所长。目前还没有人知道这种现象的工作机制，因为脑岛涉及很多大脑功能，包括感觉、运动控制和自我意识，这种多样性令人不解。但如果这个结果得到证实，毒瘾研究的整个前景就很可能因此发生改变。）

用光遗传学探索大脑

在进行这些心灵控制的实验时，大脑基本上还是个谜，所采用的乱碰乱撞的方法通常会失败。但随着探索大脑的设备爆炸式的出现，给我们带来了理解大脑进而可能控制大脑的新机会。

我们已经看到，光遗传学是当今科学领域发展最快的分支之一。它的根本目标是确定神经通路与行为模式的对应关系。光遗传学首先对一种被称为视蛋白的基因进行研究，这种基因非常奇特，它对光具有敏感性。（人们相信，几亿年前这种基因的出现创建了第一只眼睛。根据这个理论，由于视蛋白基因的作用，对光敏感的一小片皮肤进化成了眼睛的视网膜。）

在神经元中植入视蛋白基因并使其接触光，神经元就会按指令被激

活。按下一个开关，人们就能马上识别出某些行为的神经通路，因为视蛋白基因产生的视蛋白能够导电，并且会释放。

然而，困难之处在于在单个神经元中如何植入这种基因。为了达成这个目的，人们借鉴了基因工程中的技术。将视蛋白基因插入到无害的病毒（去除病毒中的有害基因）中，用精密的工具可以把这个病毒加入到单个神经元中。之后，病毒会感染这个神经元，把它的基因插入到神经元的基因中。这样，当神经组织接触到光束时，神经元就会打开。人们用这种方法就能确定具体信息所经过的精确通路。

光遗传学不仅能通过光束照射识别神经通路，还可以让科学家控制行为。这种方法已经取得了成功。长久以来，人们猜测果蝇逃逸和飞开的动作只由一个简单的神经回路负责。上述方法便能够使我们最终准确地确定负责这种迅速动作的回路。用光束照射果蝇，它们会即刻飞离。

科学家现在还能用闪光照射的方法使蠕虫停止蠕动。2011年，斯坦福大学的科学家还取得了另外一项突破。他们将视蛋白基因准确地插入老鼠的杏仁核中。这些老鼠被故意培育得十分胆小，它们在笼子里蜷作一团。但当一束光照进它们的大脑时，这些老鼠突然没了之前的胆小，开始在笼子里四处探寻了。

这个实验有着深刻的含义。果蝇的简单反应机制可能仅涉及一些神经元而已，而老鼠大脑有着完整的边缘系统，与人类大脑的构造相对应。虽然很多对老鼠进行的实验并不能直接说明人类的情况，但这仍然蕴含了一种可能性，科学家有一天能够准确地找到某些精神疾病的神经通路，进而治疗这些疾病，不会带来副作用。正如麻省理工学院的爱德华·博伊登（Edward Boyden）博士所说：“如果要关闭大脑中的某个回路，一个选项是进行摘除某个大脑区域的手术，而光纤维植入看起来可能更可取。”

一种实际的应用是治疗帕金森氏病。我们已经看到，这种疾病可以通过刺激大脑深层部位的方式进行治疗，但由于在大脑中定位电极缺乏精度，总是出现中风、出血和感染等危险。刺激大脑深层部位还会带来眩晕和肌肉收缩等副作用，因为电极会错误地刺激其他神经元。光遗传学能够在单个神经元级别上精确识别发生错误释放的神经通路，从而改进大脑深层刺激方法。

瘫痪患者也能从这项新技术中获益。我们在第4章看到，一些瘫痪患者通过所连接的电脑来控制机械手臂，但由于他们没有触觉，经常会掉落或打碎他们想抓取的物品。“利用光遗传学技术，将假手上的传感器所获得的信息直接传送到大脑，这就能在原理上提供非常真实的触觉。”斯坦福大学的克里希纳·谢诺伊（Krishna Shenoy）博士说。

光遗传学还可以用于找出人类行为所涉及的神经通路。事实上，现在已有利用这项技术对人类大脑进行实验的规划，特别是有关精神疾病

方面的研究。当然，这会障碍重重。首先，这项技术需要打开颅骨，如果要研究的神经元在大脑的深层部位，这种手术会更加具有侵入性。其次，还需要在大脑中插入细小的金属线，这样才能对相关神经元进行照射，以产生所期望的效果。

当这些神经通路被解码之后，就可以对它们施以刺激，从而使动物表现出奇怪的行为（例如，老鼠开始转圈）。虽然科学家们刚刚开始跟踪控制简单动物行为的神经通路，不过将来他们会得到大量类似行为的资料，包含人类行为在内。但如果光遗传学落入图谋不轨的人手中，就可能会被用来控制人类行为。

总体来说，光遗传学带来的益处要大大超过它的缺点。它可以真正地揭示大脑的通路，从而对精神疾病和其他疾病进行治疗。有了这种新工具，科学家就可以修复损伤，甚至治疗那些曾经被认为是不可治愈的疾病。在不远的将来，我们所获得的收益都是积极的。但在更远的未来，当人们掌握了控制人类行为的神经通路时，光遗传学还可能被用来控制或至少是改变人类行为。

心灵控制和未来

总而言之，中央情报局对药物和催眠术的使用是一场惨败。这些方法都太不稳定，无法预测，对军队来说没有什么用处。它们可以引起幻觉和依附感，但它们无法完全抹去人的记忆，无法使人变得更为顺从，也无法让人违背自己的意志去行动。各个政府还会在这方面继续尝试，但它们的目标令人难以捉摸。到目前为止，药物这种工具还太过粗钝，无法控制人的行为。

但这件事也应引起人们警觉。卡尔·萨根（Carl Sagan）设想了一场可能会成为现实的噩梦。他设想有一个独裁者把儿童抓起来，在他们大脑的“痛苦”和“快感”中枢植入电极。这些电极与电脑通过无线网络连接，这样这位独裁者就能通过一个按键控制自己的子民了。

另一种噩梦是，放入大脑中的探针可以改写我们的愿望，控制我们的肌肉，强迫我们从事我们不愿意做的工作。德尔加多博士的研究虽然粗糙，但它表明对大脑运动区域施以电流可以颠覆我们有意识的思想，这样肌肉也就不在我们的控制之下了。德尔加多博士只找到少数几种能够用电探针控制的动物行为。在将来，也许可能找到大量的用电子开关就能控制的行为。

如果你是被控制的那个人，这就不是美妙的体验了。即使你认为自己是身体的主人，但肌肉的动作事实上不受你的控制，这样你的行为可能会违背自己的意志。向你的大脑施加的电脉冲可能超过你自己有意识地传递给肌肉的脉冲，这种情况下，你的身体就好像被别人劫持了一样。你自己的身体成了一种外在的物体。

理论上，类似的噩梦将来的确可能发生。不过有几种因素可以对此进行预防。首先，这项技术还处在萌芽期，人们还不知道怎样将其用于人类行为，因此有足够的时间监控它的发展，或许可以设置安全措施使其不被滥用。其次，独裁者也许会认为宣传和胁迫这两种控制人民的通常手段比向数百万儿童的大脑中放入电极更为经济、有效，后面这种方式很可能十分昂贵，而且具有侵入性。第三，民主社会中很可能会产生激烈的公众辩论，探讨这种强大的技术带来的希望和局限性。人们会制定法律，防止这些方法被滥用，同时让其发挥降低人类痛苦的能力。不久科学就能够告诉我们有关大脑神经通路细节的前所未有的知识，有必要在造福于社会的技术和控制社会的技术之间划出清晰的界线。制定这样的法律关键是大众接受良好的教育和充分知情。

但我相信，这项技术的真正影响在于解放心灵，而不是奴役心灵。这些技术能够给那些受困于精神疾病的人们带来希望。虽然目前还没有治疗精神疾病的永久方法，但这些技术能够告诉我们这些症状如何形成，如何发展。将来有一天，通过遗传学、药物以及结合各种高科技手段，我们会找出控制这些古老疾病的方法，并最终将其治愈。

最近一种尝试是利用这种新的大脑知识去理解历史人物。或许，现代科学带来的启发能够帮助我们解释过去人物的心灵状态。

圣女贞德就是当今被分析的最神秘人物之一。

9　发生改变的意识状态

情人们和疯子们都有发热的头脑……

疯子、情人和诗人

都是幻想的产儿。

——威廉·莎士比亚，《仲夏夜之梦》

圣女贞德只是一个不识字的农村姑娘，宣称自己听到了上帝的声音。她会走出卑微，带领一支士气低落的军队走向胜利，改变国家的命运，让自己成为历史上最令人心醉、最令人着迷、最具悲剧色彩的人物之一。

在混乱的百年战争中，法国北部一度被英国军队践踏，法国王室不断撤退，此时来自奥尔良的一位青年女性宣称得到神的旨意，要带领法国军队走向胜利。已经一无所有的查理七世把一些部队交给了她。出乎所有人的意料，她对英军取得了一连串的胜利。关于这个非凡女性的消息很快传开。每打一次胜仗，她的威望就跟着上升，最后她成了人民心目中的女英雄，法国人都聚集到她的身边。本已摇摇欲坠的法军取得了决定性的胜利，为新国王的加冕铺平了道路。

但由于别人的出卖，她被英国人抓住了。他们意识到这个女人会是多么大的威胁，因为她已经成为法国人强有力的象征，并宣称直接从上帝那里得到指引。所以，英国人决定对她进行公审。在一番繁复的审讯之后，她被判为有罪，并在1431年她19岁这一年被处以火刑。

在接下来的几个世纪中，人们成百上千次地试图了解这位非凡的青年。她是先知，是圣徒，还是疯子？最近，科学家们开始利用现代精神病学和神经科学来解释像圣女贞德这样的历史人物了。

对于她宣称接受神启，很少有人怀疑她的真诚。但很多科学家认为她可能患有精神分裂症，因为她会听到某些声音。也有人不同意这种看法，因为那场审判她的现存材料说明，她具有理性的思想和言语。英国人对她设下好几处有关神学的陷阱。比如，他们问她是否受到上帝的恩典。如果她回答是，那么她就是一个异教徒，因为没有人会确定自己受到上帝的恩典。如果她回答不是，那么就等于承认了自己的罪行，承认自己是个骗子。不管怎样回答，她都会失败。

她的回答震惊了在场的所有人，“如果我没有受到上帝的恩典，希望上帝赐予我恩典；如果上帝已赐予我恩典，愿上帝之恩永续。”法庭公证

人在记录中写道：“那些审问她的人都惊呆了。”

这场审讯的文字资料十分受人关注，事实上，乔治·萧伯纳（George Bernard Shaw）在他的戏剧《圣女贞德》（Saint Joan）中就直接用了这些法庭记录的翻译文字。

最近，关于这个无与伦比的女性又出现了另外一个理论：她也许患有颞叶癫痫症。患有此病的人有时会突然发作，其中有些人还会出现一些奇怪的副作用，这对人类信仰的结构可能有所启示。这些病人患有“极度宗教狂热症”（hyperreligiosity），会情不自禁地认为万物后面都有神灵或灵魂存在。随机事件从来就不是随机的，而是有着某种深刻的宗教含义。有些心理学家推测，历史上的很多先知都有这种颞叶癫痫损伤，因为他们坚信自己在与上帝对话。神经科学家戴维·伊格尔曼（David Eagleman）博士说：“历史上的某些先知、殉道者和领袖似乎都患有颞叶癫痫症。比如圣女贞德，一个16岁的姑娘，扭转了百年战争的局势，因为她相信（也使法国士兵相信）她接收到来自天使之长圣徒米迦勒、亚历山大的圣徒凯瑟琳，圣徒马格瑞特和圣徒加布雷尔的旨意。”

这种有意思的现象早在1892年就有记载，有关精神疾病的教科书中注意到“宗教情感”与癫痫症之间的联系。1975年，波士顿退伍军人疗养院的精神病医生诺曼·格施温德（Norman Geschwind）第一次对这种现象进行了临床记录。他注意到，那些左颞叶出现错误电释放的癫痫患者经常会有宗教经验，他进而推测，大脑中的电流风暴可能是导致这种宗教偏执的原因。

V.S.拉玛钱德朗（V.S.Ramachandran）博士估计，在所有颞叶癫痫病人中有30%～40%同时患有极端宗教狂热症。他注意到：“有时它会是一个很个人化的上帝，有时会是一种与整个宇宙合而为一的更为弥漫性的情感。所有事物似乎都充满了意义。病人会说：‘医生，最终我看到了这一切的意义。我真正明白了上帝。我知道了自己在宇宙中的位置，知道了宇宙的安排。’”

他还注意到，这些人中有很多都极端固执地坚持自己的信仰。他说：“我有时会怀疑这些患有颞叶癫痫症的病人是不是可以进入世界的另一个维度，就像穿过虫洞进入某个平行宇宙。但一般情况下我不会对同事谈起这些，我怕他们说我疯了。”他对颞叶癫痫病人进行实验，发现这些人对于“上帝”这个词有着强烈的情感反应，但对中性词语没有这种反应。这意味着极端宗教狂热症与颞叶癫痫之间的联系确实存在，并非奇闻逸事。

心理学家迈克尔·波辛格（Michael Persinger）认为，某种经过颅腔的电刺激（称为经颅磁刺激，TMS）可以引起这种癫痫损伤效应。如果情况的确如此，那么是否可以利用磁场来改变一个人的信仰呢？

在波辛格博士的研究中，受试者戴上安装有磁场发射装置的头盔

（称为“上帝头盔”），向大脑特定部位发射磁场。在之后的访谈中，受试者经常会说自己见到了伟大的神灵。戴维·别洛（David　　Biello）在《科学美国人》中写道：“在三分钟的刺激中，受试者会将他们对神灵的知觉转化为自己的文化语言和宗教语言，把它称为上帝、佛祖、仁慈的上苍或宇宙的奇迹。”由于这种效果可以随时复制，这说明大脑硬件构造中有某些部分可以对宗教情感做出反应。

一些科学家在这方面走得更远，他们推测大脑中有一种“上帝基因”，使大脑天生就具有宗教性。由于大多数社会都构建了某种宗教，我们对宗教情感作出反应的能力被编入我们的基因图谱也许是可能的。（与此同时，一些进化论的理论家认为，宗教提高了早期人类生存的可能性，并试图以此来解释这些现象。宗教将不断纷争的个体凝结为一个部落，拥有共同的神话，这就提高了这个部落保持团结、共同存活的可能性。）

像“上帝头盔”这样的实验会不会改变一个人的宗教信仰呢？而磁共振成像（MRI）机能不能记录下经历宗教觉醒的人的大脑活动呢？

为了验证这些想法，蒙特利尔大学的马里奥·博勒加德（Mario Beauregard）博士招募了15名加尔默罗修会的修女，她们同意接受磁共振成像机的检测。为成为合格的受试者，这些人都必须“有过与上帝结合的强烈经验”。

本来，博勒加德博士预期这些修女可能与上帝进行某种神秘的交流，从而可以用MRI扫描记录下来。然而，被挤在MRI机中，周围是纷乱不清的磁线圈和高科技设备，这实在不是进行宗教升华的理想环境。她们只能做到回忆起之前的宗教经验。“上帝可不是随意能被召唤的。”一位修女解释道。

最终的结果有些混杂不清，没有决定性，但在实验过程中大脑有几个部分明显被激活了：

· 尾状核，涉及学习，也可能涉及恋爱。（也许修女们体验到的是对上帝无条件的爱？）

· 脑岛，监控身体感觉和社会情感。（也许修女在投入上帝怀抱时，她们彼此之间拉近了情感？）

· 顶叶，帮助处理空间意识。（也许修女们感觉到自己在上帝的身体中存在？）

博勒加德博士不得不承认，大脑中被激活的区域太多，这带来各种不同的解释，因此不能判定是否引起了极端宗教狂热症。不过很明显，修女们的宗教感情的确反映在她们的大脑扫描中了。

但这个实验是否影响了修女对上帝的信仰呢？没有。事实上，这些修女认为是上帝把这种“无线电”放进她们大脑里的，这样才能与他交流。

她们的结论是上帝创造了人类，赋予人类这种能力，上帝给人类大脑中安装了一种神性的天线，我们通过它感受上帝的存在。戴维·别洛说：“虽然无神论者可能会认为在大脑中找到精神存在说明了宗教不过是一种神性的假象，但这些修女却对这些大脑扫描结果十分兴奋，她们的理由正好相反：对她们来说，这些结果是上帝与她们互动的确证。”博勒加德博士最后说道：“如果你是无神论者，有某种特定的经历，那么你会把这个现象归结为宇宙的伟大。如果你是基督徒，那么你就会把它与上帝联系起来。谁知道呢。也许，这是一回事。”

牛津大学的生物学家理查德·道金斯（Richard　Dawkins）博士是一位从不掩饰的无神论者，有一次也同样戴上了上帝头盔，以确定他的宗教信仰是否发生了改变。

没有改变。

因此，虽然极端宗教狂热症有可能由颞叶癫痫症引起，甚至可能由磁场引起，但并没有令人信服的证据证明磁场可以改变一个人的宗教观点。

精神疾病

然而，有一种意识发生改变的状态却给我们带来很大痛苦，包括遭受这种病痛的人以及他们的家人，这就是精神病。大脑扫描和高科技有可能揭示这种疾患的根源，从而找出救治的方法吗？如果可以，那么人类痛苦的一大根源就可以得到消除。

例如，治疗精神分裂症的方法在整个历史中一直十分残暴、粗糙。患有这种使人衰弱的精神疾病的人，大约占总人口的1%，他们总是会听到想象中的声音，产生妄想以及混乱不清的思维。一直以来，人们认为这些人被恶魔“附体”，遭到流放、杀害或关押。哥特小说有时会描写生活在密室的黑暗角落或地下室中怪异的、精神错乱的亲戚。圣经甚至提到耶稣与两个着魔的人遭遇的经历。他们请求耶稣把他们赶到猪群中。他说：“去吧。”魔鬼进入猪群中，所有的猪急忙跳下堤岸，淹死在海里了。

即便是今天，你还是能看到有典型精神分裂症状的人四处游荡，与自己交谈。最早的症状一般出现在20岁左右（男性），或20岁出头（女性）。一些精神分裂症患者也能过正常的生活，甚至在被那些声音占据之前还能取得引人注目的成绩。最著名的例子是1994年的诺贝尔奖得主约翰·纳什（John Nash），也就是《美丽心灵》（A Beautiful Mind）中罗素·克洛（Russell　Crowe）饰演的角色。在20多岁时，纳什就读于普

林斯顿大学，在经济学、博弈理论和纯数学的研究方面进行了开创性的工作。他的一位导师在一封推荐信中只写了一句话："这个人是天才。"让人惊奇的是，他甚至在受到幻觉侵扰时仍能在如此高水平的知识领域工作。最终在他31岁时，他完全崩溃被送进了医院，后来在精神病院住了很多年，又满世界游荡，总是怀疑共产主义间谍会杀他。

现在，并没有准确的、公认的诊断精神疾病的方法。不过人们希望有一天，科学家可以用大脑扫描和其他高科技设备创造出精准的诊断工具。因此，精神疾病的治疗缓慢得令人痛苦。在遭受了几个世纪的痛苦之后，精神分裂症患者在20世纪50年代第一次看到了解脱的曙光，人们发现了像氯丙嗪这样的抗精神病药物，可以奇迹般地控制困扰精神病人的声音，甚至有时可以完全去除这种声音。

人们认为这些药物通过控制某些神经递质（如多巴胺）的水平来发挥作用。具体而言，这些药物作用的机理是阻止某些神经细胞D2受体的工作，从而降低多巴胺的水平。（这个理论认为，产生幻觉的部分原因是边缘系统和前额叶皮层中的多巴胺水平过高，这同时说明了服用安非他明的人会出现相同幻觉的原因。）

由于多巴胺对大脑突触至关重要，因此它也关系到其他症状。一种理论认为，突触中缺少多巴胺会加重帕金森氏症，而过多的多巴胺会引起"抽动秽语综合征"（Tourette's syndrome，又称"图雷特氏综合征"）。（患有抽动秽语综合征的人会出现抽动和反常的面部运动。其中一小部分人会不受控制地说出淫秽、咒骂的话。）

最近，科学家已经圈定了另外一个可能的罪魁祸首：大脑中异常的谷氨酸水平。怀疑这种异常水平的一个理由是，苯环己哌啶（PCP，或称"天使粉末"）可以通过阻止叫做NMDA（天冬氨酸）的谷氨酸受体工作，使人产生类似于精神分裂症病人的幻觉。氯氮平可以刺激谷氨酸生成，作为一种治疗精神分裂症的比较新的药物显示了很大的潜力。

然而，这些抗精神病药物并非万能。在大约20%的病例中，这些药物可以停止所有症状，大约三分之二的症状有所减轻，但剩下的完全没有变化。（一种理论认为，抗精神病药物仅仅是模拟精神分裂症患者大脑中缺少的自然物质，并非完全复制。所以，病人需要尝试各种各样的药物，几乎是在不断试错。此外，这些药物还会带来令人不快的副作用，所以精神分裂症患者经常会停止用药，导致病症复发。）

最近，在精神分裂症患者出现听觉幻觉时进行的大脑扫描可以帮助我们理解这一古老的疾病。例如，当我们与自己无声对话时，磁共振成像（MRI）扫描会显示大脑某些部分被激活，特别是颞叶部分（比如，韦尼克氏区）。当精神分裂症患者听到声音时，相同的区域也会激活。大脑总是努力工作编织一种讲得通的说法，因此精神分裂症患者试图理解这些不明来历的声音，认为它们的来源一定很奇怪，比如认为火星人秘密地把思想输入进他们的大脑里。美国俄亥俄州立大学的迈克尔·斯威

尼（Michael Sweeney）博士写道："负责听觉的神经元自己发生释放，就像浸满汽油的抹布在炎热黑暗的车库里自燃一样。在周围环境中没有图景和声音的情况下，精神分裂症患者的大脑会制造出非常强烈的现实幻觉。"

这些声音似乎总是来自第三方，它对受试者发号施令。这些命令大多是平常的，但有时会十分疯狂。同时，位于前额叶皮层的模拟中枢似乎在自由行进。因此从某种意义上说，精神分裂症患者的意识中所进行的模拟与我们是一样的，但他们的模拟不受自己的控制。完全可以说，他们的确在与自己交谈，但自己并不知道。

幻觉

心灵一直产生幻觉，但大多数幻觉我们可以轻易控制。例如，我们会看到并不存在的图像或听到虚假的声音，而前扣带回皮层的主要作用是区分真实与虚假。大脑的这个部分可以帮助我们把外部刺激和心灵所产生的内部刺激区分开。

然而，人们认为精神分裂症患者的这个系统受到了损伤，因此他们不能区分真实的声音和想象中的声音。（前扣带回皮层至关重要，因为它位于一个影响全局的区域，在前额叶皮层和边缘系统之间。由于其中一个区域负责理性思维，另一个控制其他情感，所以这两个区域的连接是大脑中最为重要的连接之一。）

从某种程度上说，幻觉可以根据需要产生。如果把某人置于一个全黑的房间、一间隔离室或有奇怪噪声的阴森环境中，他会自然而然地产生幻觉。还有很多"我们的眼睛欺骗我们"的例子。事实上，是大脑自己在欺骗自己，不断从内部制造虚假图像，不断尝试理解这个世界并识别威胁。这种效应被称为"幻想性视错觉"。我们抬头看天空中的云彩时总能见到动物、人或我们最喜欢的卡通人物的图像。我们没有选择，因为这已经成为我们大脑基因的一部分。

在一定意义上，我们看到的所有图像，真实的和虚拟的，都是幻觉，因为大脑会不断制造出虚假图像来"填补空缺"。我们已经看到，即便是真实图像，也有一部分是我们大脑制造出来的。但对于遭受精神疾患的人，他们大脑中如前扣带回皮层这样的区域很可能受到损伤，所以大脑就混淆了真实和虚幻。

强迫症

可以用药物来治疗的另外一种心灵疾病是强迫性神经官能症（OCD，简称强迫症）。我们之前看到，人类的意识会在很多反馈机制中进行调节。但有时这些反馈机制会卡在"打开"的位置上。

每40个美国人当中就有一个人患有强迫症。有的病例比较轻微，比如有的人总是要回家看看门有没有上锁。电视剧《神探阿蒙》（Monk）中的侦探艾德里安·蒙克（Adrian Monk）就有轻微的强迫症。但强迫症也有严重的症状，有的人会情不自禁地抓挠自己的皮肤，不断冲洗，直到皮肤出血、破皮。一些患有强迫症的人会重复强迫行为达数小时之久，很难投入工作或拥有家庭。

正常情况下，轻微的强迫行为事实上是对我们有好处的，因为我们可以获得清洁、健康和安全。这是起初我们为什么会进化出这些行为的原因。但一些患有强迫症的人无法停止进行这种行为，完全失去了控制。

大脑扫描正向我们揭示为什么会发生这种情况。扫描显示大脑中至少有三处在正常情况下使我们保持健康的部分卡在了反馈回路中。第一处是眶额叶皮层，我们在第1章中看到，这部分负责核对事实，可以确保我们已经锁好了门，已经洗净了手。它告诉我们："嗯，有些不对劲。"第二处是位于基底神经节的尾状核，控制自动的学习活动。它告诉身体去"做某件事"。最后一处是扣带回皮层，寄存意识情绪，其中包括不适。它会说："我仍然觉得很可怕。"

加利福尼亚大学洛杉矶分校的精神病学教授杰弗里·施瓦茨（Jeffrey Schwartz）试图把这些现象汇总，以解释强迫症失控。假设你急迫地想洗手。眶额叶皮层发觉有什么事不对劲，发觉你的手很脏。然后尾状核开始发挥作用，驱使你自动去洗手。然后扣带回皮层寄存了手洗干净的满足感。

但在某些患有强迫症的人那里，这个循环改变了。即使他发觉自己的手脏了，而且洗净了手之后，他还是有些不安，觉得有什么事不对劲，觉得手还是很脏。这样他就卡在一个不会停止的反馈回路中了。

在20世纪60年代，人们开始用盐酸氯米帕明来缓解强迫症。这种药物以及之后开发的其他药物可以提高人体内神经递质血清素的水平。在临床试验中，这些药物可以降低强迫症症状的60%。施瓦茨博士说："大脑还是会做它要做的事情，只是你不再受它的控制。"这些药物当然不是什么可以治愈的解药，但它们给患有强迫症的人带来了一些安慰。

躁郁症

另外一种常见的精神疾病是躁郁症。患此症的人会经历一阵极端疯狂的、妄想性的歇斯底里情绪，接着是崩溃和一段时间的深度抑郁。躁郁症有遗传性，而且有意思的是，这种症状经常会在艺术家群体中出现。也许，他们伟大的艺术作品都是在高涨的创造力和歇斯底里的情绪下创造出来的。如果要列举患有躁郁症的创意人的名字，那就会像阅读好莱坞明星、音乐家、艺术家和作家的名人录一样。虽然药用锂似乎能

够控制躁郁症的很多症状，但它的致病原因并不完全明确。

一种理论认为，躁郁症可能由大脑左右半球之间的不平衡引起。迈克尔·斯威尼博士说："大脑扫描使研究人员普遍认为，右半球与负面情感有关，如悲伤，而左半球与正面情感有关，如欣喜。至少一个世纪以来，神经科学家已经注意到大脑左半球损伤与负面情绪之间的关系，包括抑郁和无法控制的哭泣。不过与大脑右半球的损伤相关联的正面情感要更多一些。"

因此，如果只剩下负责分析和控制语言的大脑左半球，人就会倾向于疯狂。相反，大脑右半球是全盘性的，会抑制这种疯狂。V.S.拉玛钱德朗博士写道："如果不受到抑制，左半球很可能会使一个人产生妄想或疯狂……所以，在右半球设一个'故意唱反调的人使你'能以一种公平的、客观的（非自我为中心的）角度看待自己，这应该是合理的。"

如果人类的意识涉及模拟将来，那么它应该计算出将来事件结果的概率。因此，它需要在乐观和悲观之间做出微妙的平衡，以估计某个行为通向成功或迈向失败的可能性。

但在某种意义上，抑郁是我们为得到模拟未来的能力而付出的代价。我们的意识可以设想出将来各种各样的可怕结局，因而完全清楚可能发生的悲惨事件，即使这些事件并不真实。

这样的理论很难验证，因为对抑郁症临床患者的大脑扫描说明这涉及到很多大脑区域，很难确定问题的来源。但在这些人中，顶叶和颞叶活动似乎受到抑制，也许说明他们从外部世界退出，仅生活在自己的内在世界里。特别是腹内侧皮层似乎起到了很重要的作用。很明显，这一区域制造出的感觉是，这个世界是有意义的，是一个整体，这样所有事物似乎都有其目的的。这个区域过分活跃会导致狂躁，人们会认为自己无所不能。而这个区域不够活跃时会引起抑郁以及一切都毫无意义的感觉。因此，该区域的缺陷可能与某些情绪波动有关。

有关意识和精神疾病的一个理论

那么有关意识的时空理论怎样解释精神疾病呢？这种理论能不能使我们更深入地理解这种症状？我们之前提到，可以把人类的意识定义为，通过评估不同设定下的反馈回路，来构建这个世界在时空中（主要是未来）的模型，以实现目标的过程。

我们提出人类意识的关键功能是模拟未来，这可不是一项无关紧要的工作。大脑完成这些工作就要使这些反馈回路相互制衡。比如，参加董事会议的经验丰富的首席执行官要吸引员工中的不同意见，归纳出不同观点，进行筛选做出最后决策。同样，大脑中的不同区域也会对未来做出不同的评判，这些结果传递给大脑的首席执行官——背外侧前额叶皮层——在这里得到评价和权衡，最后得出一个平衡的决策。

现在我们可以用这个有关意识的时空理论来定义大多数精神疾病了：

精神疾病基本上由模拟未来的不同反馈回路之间的微妙制衡发生破坏引起的（通常是因为大脑中的某个区域过于活跃或过于不活跃）。

由于反馈回路的破坏，大脑的首席执行官（背外侧前额叶皮层）无法对事实进行均衡的评判，从而以离奇的方式运作，得出奇怪的结论。这个理论的优势在于它可以被检验。我们可以在精神病人表现出功能性障碍行为时对其进行大脑磁共振成像（MRI）扫描，评价其反馈回路的运行机制，然后与正常人的MRI扫描结果进行比对。如果这个理论是正确的，功能性障碍行为（例如，幻听或有强迫症）就能够归结于反馈回路之间的制衡失灵。如果功能性障碍行为完全独立于这些大脑区域的相互作用，那么这个理论就被反证。

有了这个新理论，我们现在可以用它解释各种精神疾病，以一种新的方式看待我们之前的讨论。

我们之前看到，强迫症患者的强迫行为可能产生于几个反馈回路之间的制衡失效：有一个回路认为某事出现差错，另一个着手修正，还有一个发出信号说事情已经得到处理。这个回路制衡的失效就会使大脑陷入一种可怕的循环，我们就永远不能相信问题已被解决。

精神分裂症患者听到声音是因为几个反馈回路不再彼此平衡。有一个回路在颞叶皮层生成虚假声音（即，大脑在自言自语）。听觉和视觉幻象通常由前扣带回皮层抑制，这样正常人能够区分真实的声音和虚幻的声音。但如果这个大脑区域无法正常工作，那么大脑就会充斥着空洞的声音，并认为它们是真实的。这会引起精神分裂现象。

同样，躁郁症患者在疯狂和抑郁之间的情绪波动可以归结于大脑左右半球之间的不平衡。乐观评价和悲观评价之间的必要互动无法得到平衡，因此患者在这两种相对的情绪之间疯狂地波动。

妄想症也可以从这个角度去理解。它产生于杏仁核（记录恐惧，夸大威胁）和前额叶皮层（评判威胁，使其得到合理评价）之间的不平衡。

我们应该注意的是，进化过程给予我们这些反馈回路必定是有原因的：保护我们。它能使我们保持干净、保持健康以及保持社会联系。相反的反馈回路之间的动态平衡遭到破坏时才会产生问题。

这个理论可以粗略地总结为：

表2　意识的时空理论概述

精神疾病	1号反馈回路	2号反馈回路	受影响的大脑区域
妄想症	察觉威胁	忽视威胁	杏仁核/前额叶
精神分裂症	制造声音	忽视声音	左颞叶/前扣带回皮层
躁郁症	乐观	悲观	左右半球
强迫症	焦虑	满足	眶额叶皮层/尾状核

根据这个“意识的时空理论”，很多精神疾病都可以描述为大脑中模拟未来的相反反馈回路之间的制衡遭到破坏。大脑扫描会一点一点地揭示这种制衡破坏涉及哪些区域。对于精神疾病更为完整的理解无疑会告诉我们参与其中的更多的大脑区域，以上仅仅是一个初步的概括。

深部大脑刺激

虽然意识时空理论可以启发我们对精神疾病来源的认识，但它并不能告诉我们怎样设计新的治疗方法，怎样制造新的药物。

将来科学怎样应对精神疾病呢？这个问题的答案很难预见，因为我们现在发现精神疾病并不是一个简单的范畴，它包含了所有影响大脑的疾病，它们的运行方式多到令人混乱。此外，科学尚在追赶精神疾病的起步阶段，有大片未完全开发的和等待探索的处女地。

不过现在正在试验一种新的方法来治疗那些饱受抑郁症折磨的人，这种精神症状十分常见而顽固，在美国有2　000万患者。他们当中有10%无法被治愈，所有医学上的进展对其无能为力。一种比较有希望的直接疗法是在某些确定的深部大脑区域中放置探针。

在华盛顿大学医学院从事研究的海伦·迈贝格（Helen　Mayberg）博士和她的同事发现了这种病症的一个重要线索。利用大脑扫描，他们标定了一处名为布洛德曼25区的大脑区域（也称为胼胝体下扣带区域），对于那些无法治疗的抑郁症患者，这个区域的大脑皮层始终处于极度活跃状态。

这些科学家利用这个区域的深部脑刺激术（DBS），在大脑中插入一根小探针施加电击，这有点像心脏起搏器。DBS对于多种紊乱症的治疗都取得了令人惊异的成功。在过去的10年中，DBS已用于4万名运动疾病患者的治疗，如帕金森氏病和癫痫病，这些病症使身体不受控制地活动。60%～100%的病人手部抖动症状得到了很大改善。现在仅在美国就有250多家医院提供DBS治疗。

不过迈贝格博士的想法是，直接对布洛德曼25区使用深部脑刺激术（DBS）治疗抑郁症。她的团队接收了12个有临床抑郁症状且在广泛使

用药物、心理疗法和电击疗法后没有改善的病人。

他们发现，经治疗其中8个人立即表现出好转。他们的成功是令人惊叹的，因此其他团队也在这方面进行追赶，利用深部脑刺激术（DBS）治疗其他精神症状，期待能够复制这些结果。目前，在埃默里大学正在将DBS用于治疗35个病人，还有30个病人在其他机构接受相同治疗。

迈贝格博士说："抑郁症1.0是心理疗法——人们争论的是病因是什么。抑郁症2.0的看法是这是一种化学紊乱。现在是抑郁症3.0。抓住所有人想象的是，把这个复杂的行为症状分解为各个组成部分后，你就可以对它产生新的看法。"

虽然深部脑刺激术（DBS）在治疗抑郁症患者方面的成绩是令人瞩目的，但还需要进行更多的研究。第一，我们还不清楚DBS为什么会起作用。人们认为DBS摧毁了或破坏了大脑中过于活跃的区域（比如，帕金森氏区和布洛德曼25区），因此仅对由这些活跃区域造成的病患有效。第二，这种工具的精确性有待提高。虽然这种疗法已经用于治疗多种大脑疾病，如幻肢痛（患者感到已被截肢的肢体疼痛）、抽动秽语综合征和强迫症，但置于大脑中的电极并不精确，因此会影响到几百万个神经元，而不仅仅是涉及病源的那几个。

只有时间能改善这种疗法的有效性。利用微电子机械（MEM）技术，我们可以制造出微型电极，能够每次仅刺激几个神经元。纳米技术也可能带来纳米级的神经元电极，就像纳米碳管那样只有一个分子大小。同时，随着像磁共振成像（MRI）机灵敏度的提高，我们对更为细致的大脑区域使用这种电极的能力也会提高。

从昏迷开始

深部脑刺激已经分成了几个不同的研究领域，包括一种有益的副作用：增加海马体中记忆细胞的数量。还有一种应用是唤醒处于昏迷中的人。

昏迷可能是一种最具争议的意识表现形式，常会上报纸头条。例如泰莉·斯基亚沃（Terri Schiavo）的例子牢牢地吸引了公众的目光。在一次心脏病发作中，她由于缺氧造成了严重的大脑损伤。结果在1990年她陷入了昏迷。她的丈夫经医生同意希望她能保持尊严平静死去。但她的家人认为这样结束生命太过残忍，因为她还能对某些刺激作出反应，有一天可能奇迹般恢复。他们说过去有过一些轰动的例子，昏迷者在处于植物人状态多年后突然恢复意识。

人们用大脑扫描解决这个问题。在2003年，大多数神经学家在核查了CAT（轴向计算层析成像技术）扫描结果后，都认为斯基亚沃的大脑损伤范围太大，没有复原的希望，会处于永久性植物状态（PVS）。她

于2005年去世，之后的尸检证明的确如此，没有复原的可能性。

不过在另外一些例子中，大脑扫描显示损伤并不严重，因此有些许恢复的希望。在2007年夏天，克利夫兰的一个人经深部脑刺激之后苏醒过来，向他的妈妈打了招呼。这个人在8年前遭受了大面积脑损伤，陷入了被称为最小意识状态的深度昏迷。

阿里·礼萨伊（Ali Rezai）博士领衔的外科医生团队进行了这次手术。他们将一对导线插入病人的大脑，直到导线到达丘脑。我们已经知道，丘脑是感觉信息首次得到处理的通道。医生通过向导线施加低压电流，刺激丘脑，从而唤醒昏迷中的病人。（通常，对大脑通电会造成相关大脑区域关闭，但在某种确定情况下，也可以刺激神经元发挥功能。）

深部脑刺激（DBS）技术的改进会在不同领域中带来更多成功的案例。现在DBS电极的直径大约为1.5毫米，插入大脑时会触碰到100万个神经元，可能会造成出血和对血管的损伤。在临床中，接受DBS治疗的病人中1%～3%发生出血并发展为中风。DBS探针所带的电荷还十分粗略，总是以恒定的速率发生脉冲。最终，医生将可以调整电极的电荷，使每个电极都能针对具体人、具体病患。下一代的DBS探针肯定会更安全，更精确。

精神疾病的遗传学

理解并最终治愈精神疾病的另一种努力来自对遗传病因的研究。在这个领域已经进行了很多尝试，得出的结果还很模糊，不能令人满意。有很多证据证明，精神分裂症和躁郁症有家族遗传现象，但寻找这些人共同的基因却没有肯定的结果。有时，科学家跟踪某些精神病人的家族谱系，发现了普遍存在的基因。但把这个结果推广到其他家庭时经常会失败。科学家最多只能得出这样的结论，环境因素连同几个基因的相互作用对于引起精神疾病必不可少。不过人们普遍认为，每种精神病都有其独特的基因基础。

然而，2012年的研究结果（这是历史上最为广泛的研究之一）表明，所有精神疾病可能真的有共同的遗传因素。来自哈佛医学院和马萨诸塞州综合医院的科学家们分析了全世界6万人，发现在5种主要精神疾病中有着遗传联系：精神分裂症、躁郁症、孤独症、抑郁症和注意力缺乏多动症（ADHD）。这些疾病占据了所有精神病人的一大部分。

对受试者的DNA进行详尽分析之后，科学家们发现有4个基因会提高患精神疾病的概率。其中两个与神经元的钙离子通道有关。（钙是处理神经信号时用到的关键化学物质。）哈佛医学院的乔丹·斯莫勒（Jordan Smoller）博士说："关于钙离子通道的发现说明，也许——很不确定——影响钙离子通道功能的治疗方法会对一系列症状产生效

果。”现在，钙离子通道阻滞剂已经应用于治疗躁郁症患者。将来，这些阻滞剂还可能用来治疗其他精神疾病。

这个新结果可以帮助解释一个有意思的事实：当存在精神病家族遗传表现时，很多家庭成员会表现出不同的症状。例如，如果双胞胎中一个患有精神分裂症，那么另一个可能患有一种完全不同的精神病，比如躁郁症。

这里的关键点是，虽然每种精神疾病都有其自身的致病原因和基因，但存在一种共同的线索把它们贯穿起来。从这些疾病中分离出共有的因素可以使我们发现哪种药物最有效。

“我们这里发现的很可能仅是冰山之一角。”斯莫勒博士说：“随着研究的深入，我们可能会找到另外一些有共性的基因。”如果找到这5种疾病更多的共有基因，那么就有可能开启一种全新的精神疾病研究方法。

如果找到更多的共有基因，这可能意味着可以用基因疗法修复由缺陷基因造成的损伤。或者，这可能带来在神经层面治疗疾病的药物。

未来的领域

就目前来说，对于精神病患者还没有治愈的方法。在历史上，医生也对这些病患束手无策。但现代医学为我们解决这个古老的问题提供了新的可能性和新的疗法。其中包括：

1.寻找控制神经元信号发射的新神经递质和新药物。

2.标定与不同精神疾病有关的基因，可能采取基因疗法。

3.使用深部大脑刺激来降低或提高大脑特定区域的神经活跃度。

4.利用脑电图（EEG）、磁共振成像（MRI）、脑磁图（MEG）和经颅电磁扫描仪（TES）来研究大脑故障的准确原因。

5.在大脑逆向工程一章我们还会探讨另一个充满希望的领域，对整个大脑以及其所有神经通路进行成像。这可能会最终揭开精神疾病的奥秘。

但为了清楚理解各种精神疾病，一些科学家认为精神疾病至少可以分为两大类，每一类需要不同的研究方法：

1. 涉及大脑损伤的精神障碍。

2. 由大脑中的错误构造引起的精神障碍。

第一类包括帕金森氏病、癫痫症、老年痴呆症和一系列因中风和肿瘤造成大脑组织损伤或故障而引起的精神症。对于帕金森氏病和癫痫症来说，大脑中的一个特定区域中神经元十分活跃。对于老年痴呆症，是淀粉样斑块的增加破坏了大脑组织，包括海马体。在中风和肿瘤的情况中，大脑中的某些部分被关闭，造成各种各样的行为问题。每一种症状都必须进行不同的治疗，因为每一种损伤都是不同的。帕金森氏病和癫痫症可能需要用探针关闭活跃区域，而老年痴呆症、中风和肿瘤引起的损伤通常无法治疗。

将来，除了深部脑刺激和磁场疗法外，还会出现其他治疗大脑损伤的方法。有一天，干细胞可以替代损伤的大脑组织。也许可以用电脑找到受损区域的替代品。这种情况下，可以有机性地或电子性地去除受损组织，或替代受损组织。

第二类是由于大脑构造出错造成的症状。像精神分裂症、强迫症、抑郁症和躁郁症这样的精神病可以归为此类。大脑中的每一个区域都相对健康、完整，但它们当中的一个或多个构造出错，造成信息不能正确地被处理。这类精神病很难治疗，因为我们还不太了解大脑的构造。到目前为止，应对这些症状的主要方法是使用影响神经递质的药物，但即便如此，还是有很多碰运气的成分。

不过，还有一种意识发生改变的状态可以启发我们对心灵的认识。它还能让我们以新的视角看待大脑的工作机制，告诉我们如果有精神紊乱会发生什么。这个领域称为AI，即人工智能。虽然人工智能还处在初始阶段，它已经使我们对思维过程产生深刻的认识，甚至加深了我们对人类意识的理解。因此我们要问的问题是：硅意识能否实现？如果能够实现，它与人类意识有什么不同？将来是否有一天它会试图控制我们？

10　人工心灵和硅意识

不，我对于开发强力大脑并不感兴趣。我要追寻的仅仅是普通的大脑，一种有些像美国电话电报公司总裁一样的大脑。

——艾伦·图灵（**Alan Truing**）

2011年2月，历史诞生了。

IBM一台名为沃森（Watson）的电脑做到了许多评论家都认为不可能的事：它在电视益智节目《危险来了！》（Jeopardy!）中战胜了两位对手。上百万的观众坐在电视机前，目不转睛地看着沃森有条不紊地在全国电视台上击败对手，获得了100万美元的奖金。

IBM拿出全部本领制造出一台拥有强大运算能力的计算机——沃森。它的运算速率达到惊人的每秒500GB（相当于每秒100万部书），拥有16TB的内存，其中存储了2亿页材料，包括维基百科中的所有知识。沃森可以在电视直播中直接调用这些海洋般的信息。

沃森正是最新一代“专家系统”，一种利用形式逻辑调用大量专业信息的软件程序。（当你在电话上和一台机器讲话时，机器会给你一个选择菜单，这就是一种原始的专家系统。）专家系统会持续发展，会使我们的生活更方便快捷。

例如，工程师们正在制造一种“机器人医生”，将来会出现在你的腕表上或墙幕上，可以提供准确率达99%的医学建议，而且几乎免费。你可以告诉它你的症状，它会从世界领先的医疗机构中调用数据，提供最新的科学信息。这将大大减少看医生的次数，避免诊断错误造成的虚惊和付出高昂的费用，而且会使你与医生的定期谈话变得毫不费力。

最后我们还会拥有机器人律师，它们可以回答所有普通的法律问题；还有机器人秘书，可以规划假期、旅行和晚餐。（当然，对于一些需要职业建议的特殊服务，你还是需要看真正的医生，咨询真正的律师。但对于一般日常的建议来说，这些程序就足够了。）

此外，科学家还制造了“聊天机器人”，可以模仿普通对话。普通人可能掌握上万个词汇。阅读一份报纸需要大约2　000多个单词，但一场随意的交谈通常只需要几百个词。机器人程序可以实现用这些数量有限的单词进行交谈（只要谈话的内容限制在某些清晰明确的话题上）。

媒体炒作：机器人来了

沃森赢得那场比赛不久，一些博学家就开始捶胸顿足，担心将来有一天机器人会接管我们的一切。肯·詹宁斯（Ken Jennings）是被沃森打败的选手之一，他对媒体说：“就我看来，我欢迎我们的新主人——计算机的到来。”博学家们的问题是，如果沃森能够在一场人机比赛中战胜经验丰富的益智节目选手，那么我们其他人还有什么机会与机器相抗衡呢？詹宁斯半开玩笑地说：“布拉德（Brad，另外一个参赛选手）和我都是被新一代‘思维’机器淘汰的知识产业工人。”

不过这些评论家没有提到的是，你无法走上前去对沃森的胜利表示祝贺。你不能拍拍它的后背以示赞赏，也不能跟它举杯相庆。它无法理解这些行为的意义，而事实上，沃森完全不知道自己取得了胜利。把新闻媒体的炒作式报道放在一边，事实是沃森是一台十分精密的运算机器，能够以几十亿倍于人脑的速度进行运算（或寻找数据档案），但它缺少自我意识，也没有常识。

一方面，人工智能取得了令人惊叹的成绩，特别是在原始计算能力方面。如果来自1900年的人看到现在的计算机，他们会认为这是奇迹。但在制造能够自主思维的机器（即没有背后主宰的、没有按钮控制者的、没有遥控者的真正的自动机器）方面，进展却是痛苦而缓慢的。机器人完全不知道自己是机器人。

在过去的50年里，计算机的能力每两年就翻一番，这称为摩尔定律，据此有人说，机器最终获得与人类智慧相匹敌的自我意识只是时间问题。没有人知道这什么时候会发生，但人类应该做好准备，迎接机器意识走出实验室，走进真实世界的那一刻。我们怎样应对机器人意识可能会决定人类物种的未来。

人工智能的繁荣与萧条周期

很难预测人工智能的命运，因为它只经历了三个繁荣-萧条周期。回到20世纪50年代，似乎机器女佣和机器管家不久就会到来。能够下棋和解决代数问题的机器已经制造出来，机器人手臂可以识别并抓起砖块。斯坦福大学制造了一个叫沙基（Shakey）的机器人，它的基本构造是一台安装在轮子上带照相机的计算机，能够自己在房间内活动，避开障碍物。

科学杂志上很快出现了令人兴奋的文章，宣称机器人伴侣会很快到来。其中一些预测过于保守了。1949年，《大众机械》（Popular Mechanics）说：“将来计算机的重量不会超过1.5吨。”不过有一些却极度乐观，认为机器人的时代为期不远。沙基有一天会成为打扫地毯、帮你开门的机器女佣或管家。像《2001太空遨游》（2001: A Space Odyssey）这样的电影使我们相信，机器人很快就会驾着我们的火箭飞船奔向木星，而且可以与我们的宇航员攀谈。1965年，人工智能的奠基人之一赫伯特·西蒙（Herbert Simon）博士直截了当地说：“在20年内，

机器就能完成所有人类可以做的事。”两年后，另一位人工智能之父马文·明斯基（Marvin Minsky）博士说道：“用一代人的时间……建立‘人工智能’的问题就会大体得到解决。”

但这些漫无边际的乐观主义在20世纪70年代坍塌了。下棋的机器只能下棋，不会其他事情。机械手臂能够抓起砖块，但不能抓起其他东西。它们都是只会一种技能的小马驹。最先进的机器人花上几个小时只能从屋子的一边走到另一边。把沙基放到一个陌生的环境中，它就会迷路。而且科学家们还看不到理解意识的希望。1974年，美国和英国政府大幅缩减了资助，人工智能遭受了沉重的打击。

但是随着计算机能力在20世纪80年代的稳步提高，人工智能领域又出现了新一轮“淘金热”，这主要受益于五角大楼的决策者们期望把机器人投入到战场的刺激。到1985年，人工智能接受的资助达到10亿美元，好几亿美元花在了像“智能卡车”这样的项目上。智能卡车是一种智慧的、自动的卡车，能够深入敌人防线，自动进行侦查，执行任务（如解救俘虏），然后回到友军境内。不幸的是，智能卡车唯一做到的一件事是迷路。这些昂贵项目的明显失败，使人工智能在20世纪90年代进入又一个冬天。

保罗·亚伯拉罕斯（Paul Abrahams）谈到自己在麻省理工学院的学生时代时说：“就好像有一群人在提议建一座通向月球的高塔。每年，他们都会自豪地指出这座高塔已经比去年高了很多。唯一的问题是，月球并没有离我们更近。”

但是现在，随着计算机能力的持续发展，一场新的人工智能复兴又开始了，虽然缓慢，但已经取得了实质性进步。1997年，IBM的深蓝计算机击败了世界国际象棋冠军加里·卡斯帕罗夫（Garry Kasparov）。2005年，来自斯坦福大学的一辆机器人汽车赢得了DARPA（美国防御高级研究计划局）大挑战的无人驾驶汽车比赛的头名。人工智能越过了一个又一个里程碑。

问题是：第三次尝试会带来好运吗？

科学家们现在意识到，他们大大低估了这个问题，因为人类的大部分思维都是潜意识性的。事实上，我们思想的意识部分仅仅是我们大脑运算的极微小的一部分。

史蒂文·平克（Steven Pinker）博士说：“我愿意花很多钱买一个能够收拾餐具或做简单差事的机器人，但我买不到，因为实现这些功能所要解决的一些制造机器人的小问题，如识别物体、思考世界、控制手臂和脚等都是还没有解决的工程难题。”

虽然好莱坞电影告诉我们，可怕的终结者机器人可能离我们不远了，但制造出一个智能大脑比我们之前设想的要困难得多。我曾经问过明斯基博士，机器什么时候能够达到甚至超过人类智能。他说，他相信

这终将发生，但他不会再对具体日期进行预测了。鉴于人工智能如同过山车般的历史，也许最明智的办法是：规划出人工智能的未来蓝图，但不设定具体的时间表。

图形识别和常识

至少有两个基本问题困扰着人工智能：图形识别和常识。

我们最好的机器人还只能识别出像杯子或球这样简单的物体。机器人的眼睛也许比人眼更能看清细节，但机器人的大脑无法识别出自己看到的是什么。如果你将机器人置于一条陌生而繁忙的大街上，它马上就会迷失方向，然后迷路。由于这个问题，图形识别（例如，识别物体）的进展比先前预计的要慢得多。

一个机器人进入房间，它要做上万亿次运算，把看到的物体分解为像素、线条、圆圈、方块和三角，然后将这些图形与大脑中储存的成千上万个图像比对。例如，椅子在机器人眼中是纷乱的图线和圆点，它们无法轻松地认出“椅子”的基本特征。即使机器人能够将一个物体与数据中的图像进行成功比对，微小的偏转（如椅子被打翻在地）或视角发生改变（从另外一个角度观看椅子）也会使机器人迷惑。而我们的大脑会自动考虑不同的角度和变化。我们的大脑在潜意识中进行了上万亿次运算，但整个过程对我们来说似乎毫不费力。

机器人也遇到了常识的问题。它们无法理解有关物理世界和生物世界的简单事实。没有一个方程式能够确认像“潮湿天气让人不舒服”和“妈妈比女儿年长”之类的（对于人类）不言而喻的事实。我们把这类信息转译为数理逻辑方面取得了一些成绩，但要完全登录一个4岁儿童的常识将需要上百万行计算机代码。就像伏尔泰曾经说的：“常识并不平常。”

例如，日本（全世界30%的工业机器人在此制造）本田集团制造的最先进的机器人之一ASIMO（阿西莫）。这个非凡的机器人，大小相当于一个少年，能够行走、跑步、爬楼梯、说不同的语言，还会跳舞（事实上比我跳得好）。我在电视上与ASIMO互动过很多次，它的能力给我留下了很深的印象。

不过我私下里见到了ASIMO（阿西莫）的制造人，问了他们这个关键的问题：如果把ASIMO与动物相比，它的智力有多高呢？他们坦承，它的智能相当于一只虫子。行走和说话主要是为了媒体宣传。问题在于ASIMO大体上就是一台大录音机。它拥有的真正的自治功能是非常少的，几乎所有话语和动作都有提前精心准备的脚本。例如，录制我和ASIMO互动的短片花了大约3个小时，因为它的手势和其他动作都需要操作者团队提前编程。

如果我们把这种情况与我们对人类意识的定义相比较，现在的机器人似乎还处在非常原始的水平，仅仅是通过学习基本事实来理解这个物

理世界和社会。因此，机器人还谈不上能够对未来进行真实的模拟。例如，要让一个机器人编写抢劫银行计划，就等于假设这个机器人知道有关银行的所有基本知识，如钱存放在哪里，有什么安全系统，警察和旁观者对这种情况会做出什么反应。其中有一些可以进行编程，但仍有成百上千个人类大脑非常自然地就能理解的细节，但机器人无法理解。

机器人表现卓越的地方是在一个单一的精确领域中模拟未来，如下国际象棋、天气建模、跟踪银河系中的碰撞等。因为下国际象棋的规则和引力定律为人们所知已经有几百年，模拟一盘棋局的进展或一个恒星系的未来仅仅涉及计算机的原始计算能力。

试图用蛮力超越这个水平也陷入了困境。有一个称为CYC的野心勃勃的项目，期望能够解决常识问题。CYC（即**Cycorp**公司的人工智能项目）要纳入上百万行计算机代码，包含所有理解物理环境和社会环境所需的常识信息和知识信息。虽然CYC能够处理成千上万个事实和上百万条话语，但它还是无法复制出4岁儿童的思维水平。不幸的是，在几篇乐观的媒体报道之后，这个项目停滞了。很多程序员选择离开，截止日期一延再延，不过项目还在继续。

大脑是一台电脑吗？

我们哪里出错了呢？过去的50年里，人工智能领域的科学家试图以类比数字计算机的方式模拟大脑。也许这个方法过于简单了。正如约瑟夫·坎贝尔（Joseph Campbell）曾经说过："计算机就像旧约圣经中的神灵，有很多戒律，却没有恩惠。"如果从奔腾芯片中拿走一个晶体管元件，这台计算机会立即崩溃。但人的大脑即使有一半缺失还是会照常工作。

这是因为大脑根本就不是数字计算机，它是一种非常复杂精密的神经网络。与拥有固定架构（输入、输出和处理器）的数字计算机不同，神经网络中集合了神经元，通过学习新的技能不断重构，不断自我加强。大脑中没有程序和操作系统，没有Windows平台，也没有中央处理器。与之相反，大脑的神经网络是庞大的平行结构，为完成"学习"这个单一目的就有1 000亿个神经元同时启动。

有鉴于此，人工智能研究人员开始重新审视他们在过去50年中所遵循的"自上而下的方法"（例如，将所有有关常识的规则编录到CD中）。现在人工智能研究人员重新看待"自下而上的方法"了。这种方法力求模仿大自然的过程，以进化的方式创造出智能生命（我们），从蠕虫、鱼这种简单的动物开始，然后创造出更为复杂的生物。神经网络必须经过痛苦才能学会技能，碰壁和出错是必由之路。

麻省理工学院著名的人工智能实验室前主任，iRobot机器人公司（很多家庭使用的吸尘器由其制造）联合创始人，罗德尼·布鲁克斯

（Rodney　Brooks）博士引入了一种开发人工智能的全新方法。为什么要设计又大又笨重的机器人，为什么不制造小型的、紧凑的、像昆虫一样的机器人，让它们以自然的方式自己学会走路呢？在我对他的采访中，他告诉我，他常常为蚊子感到惊叹。蚊子只有一个近乎于只能用显微镜观察的大脑，所包含的神经元数量非常少，但它在空间中的活动能力要好过所有机器人飞机。他制造了一系列非常小的机器人，并冠以“昆虫机器人”或“小虫机器人”这样的爱称，这些机器人穿行在麻省理工学院的土地上，还可以绕着传统的机器人转圈。他们的目标是制造出可以使用试错法这种大自然方法的机器人。也就是说，这些机器人可以通过碰壁学习事物。

（最初，这似乎需要大量的编程工作。然而，颇有讽刺意味的是，神经网络不需要任何编程。神经网络所做的唯一事情是在每作出一次对的决策后改变某些通路，进而重构自己。因此，编程并不稀奇，改变网络才是重点。）

科幻小说作家曾经设想火星上的机器人将会是非常复杂的类人机器人，它们的走路和活动与我们相同，所携带的复杂程序使它们拥有人类的智能。正在发生的事情却与之相反。今天这种方法的产物，如“好奇号”火星探测器，正在火星表面巡游。程序使它们可以像人类一样行走，但它们的智力却只相当于一只虫子，不过在火星的土地上它们工作得还不错。这些火星探测器只有相对比较少的程序，它们通过碰到障碍物进行学习。

机器人有意识吗？

也许，要理解为什么真正自治的机器人还没有出现，最清晰的方法是为它们的意识排序。在第2章中，我们把意识分为4个等级。0级意识用来指代恒温器和植物。这种意识包含几个关于简单参数的反馈回路，如温度或阳光。I级意识用来指代昆虫和爬行动物，它们可以活动，并且具有中枢神经系统。这种意识可以用空间这种新参数来构建世界的模型。然后是II级意识，能够从自身与其同类的关系出发构建世界的模型，这需要情感。最后是III级意识，即人类的意识，其中纳入时间和自我意识来模拟事物未来的发展情况，并确定我们自己在这些模型中的位置。

利用这种理论，我们可以为当今的机器人排序。第一代机器人处在0级，它们无法活动，没有车轮或轮胎。今天的机器人处于I级，它们虽然能够活动，但仍处在很低的水平，因为它们很难在真实的世界中畅游。可以把它们的意识比作蠕虫或缓慢活动的昆虫。为完全达到I级意识，科学家们必须制造出可以真正复制昆虫和爬行动物意识的机器人。即便是昆虫也拥有目前的机器人所没有的能力，比如快速找到藏匿位置、在森林中寻找伴侣、识别并躲避捕食者、寻找食物和巢穴。

我们之前提到，可以用数字为每个意识等级所包含的反馈回路数量排序。例如，有视觉能力的机器人须拥有某几个反馈回路，因为它们具有视觉传感器，能够在三维空间中发现影子、边界、弯曲、几何图形等。同样，有听觉能力的机器人需要识别频率、强度、压力、停顿等信号的传感器。这些回路的总数可以达到10个左右（昆虫可以在野外觅食、寻找伴侣、发现巢穴等，它们拥有的反馈回路数大约有50多个）。因此，机器人通常拥有的意识为I：10级。

如果机器人能够进入II级意识，那么它应该能够建立起自己与其他同类的关系模型。我们之前提到，II意识大约等于种群成员数量与它们之间交流所使用的情感和姿势数量的乘积。这样机器人的II级意识为II：0。我们期望现在实验室中正在建造的机器人能够很快提高这个数值。

当今的机器人只能把人看成在其视觉传感器上移动的一组像素点，但有些人工智能研究者已经开始制造能够识别我们脸部表情和声音语调中传递出的情感的机器人。这是机器人向着能够意识到人类不仅仅是随机的像素点，能够意识到人类具有情感状态的目标迈出了第一步。

未来的几十年中，机器人会逐渐提升到II级意识，达到与老鼠、小白鼠、兔子以及猫一样的智能水平。也许在本世纪末，机器人可以达到猴子的智能水平，可以开始形成自己要追求的目标。

一旦这些机器人有了常识性的应用知识，掌握了心灵理论（Theory of Mind，或“心理理论”），它们便能够以自己为主要角色对未来进行复杂的模拟，从而进入III级意识。它们将从当下的世界出发，进入未来的世界。这要比当今的机器人先进几十年。对未来进行模拟意味着对自然规律、因果律和常识的牢固把握，从而能够预见未来事件。这还意味着需要理解人类意图和动机，进而能够预测人类未来行为。

III意识的数值，正如我们所提到的，通过在多种现实情境中模拟未来所建构的因果关系链总数，除以控制组的平均数值来计算。今天的计算机可以在几个参数上进行有限的模拟（例如，两个星系的碰撞、飞机周围的气流、地震中大楼的摇动），但它们无法在复杂的实时情景中模拟未来，因此它们的III意识水平大约为III：5。

正如我们看到的，制造出能够在人类社会中正常工作的机器人还需要很多年的艰苦努力。

前进路上的减速带

机器人的智能什么时候可以赶上并超越人类呢？没有人知道，但人们进行了很多预测。其中大多数都基于摩尔定律，把它延伸到未来几十年。不过摩尔定律其实根本就不是定律，事实上它最终会违背一个基本的物理规律：量子理论。

正是这个原因，摩尔定律不会无限适用。事实是，我们已经看到它现在的发展放慢了速度。这个10年的最后几年或下个10年，我们也许就能够看到它的效果趋于停滞，这种结果是可怕的，对于硅谷尤其如此。

问题十分简单。现在，我们可以把数百万个硅晶体管放到一个指甲大小的芯片上，但芯片上能够承载的晶体管数是有限的。目前奔腾芯片中最小的一层硅大约20个原子宽，到2020年这个表层会达到5个原子宽。但之后海森堡的测不准原理会发生作用，我们无法准确判断电子在哪里，它有可能“溢出”线路。（关于量子理论和测不准原理的更多细节见附录。）芯片会发生短路。另外，它们会产生足够煎熟鸡蛋的热量。因此，溢出问题和散热问题最终会使摩尔定律前景堪忧，替代这个定律很快就会成为必要的工作。

因为在平坦的芯片表面布置晶体管使计算机能力不再增加，所以英特尔公司开始投入几百亿美元制造三维芯片。时间会告诉我们这场赌局会不会赢（3D芯片面临的一个大问题是生成的热量随着芯片的高度急剧上升）。

微软选择了另外的道路，比如在2D环境中拓展平行处理。一种可能性是将芯片平铺成一排。然后把一个软件任务分割为几块，每一块由对应的一块小芯片负责，并在末端重新整合在一起。不过，这个过程可能很困难，与我们熟悉的摩尔定律呈指数高速增长相比，软件发展得十分缓慢。

这些权宜之计可以增加摩尔定律的年限。不过最终这一切都将失去作用：量子理论不可避免地要发挥作用。这意味着物理学家们需要在硅时代接近尾声时找出各种各样的出路，如量子计算机、分子计算机、纳米计算机、DNA计算机、光计算机等。但所有这些技术都还没有为它们的黄金时代做好准备。

恐怖谷

暂且假设有一天我们可以与令人难以置信的复杂机器人共存，这些机器人可能会用到分子晶体管芯片，而非硅晶体管芯片。我们期望这些机器人看上去要与我们有多像呢？日本在制造造型像可爱的宠物和儿童一样的机器人方面领先世界，不过这些机器人可能会使人不舒服。1970年，日本的森政弘（Masahiro Mori）博士最早研究了这种现象，把它称为“恐怖谷”理论。这种理论假定，如果机器人的造型太像人类会令人毛骨悚然。（这种效应事实上是由达尔文在1893年于《乘小猎犬号环球航行》［The Voyage of the Beagle］中首次提到，后来弗洛伊德在1919年的论文“恐怖谷心理学”［The Uncanny］中也曾提到。）从此，精细地研究这种现象的不仅有人工智能学者，还包括动画制作专家、广告人员以及所有波及类人形产品的从业人员。例如，美国有线电视新闻网（CNN）撰稿人在对电影《极地特快》（The Polar Express）的评论

中写道："电影中那些人类角色给人一种完完全全的……可以说是不寒而栗的感觉。所以，《极地特快》往好处说是令人不安，往坏处说简直是有点恐怖。"

根据森政弘博士的说法，机器人长得越像人类，我们就越会与它们有相同的情感，但这有一个限度。当机器人的造型接近真人形象时，同感就会下降，即出现恐怖谷心理。如果机器人除去几个"恐怖"的特征之外与我们十分相像，这就会造成反感和恐惧。如果机器人与人类百分之百相像，与我们无法区分，此时我们就又会产生正面情感了。

这一点有其实际意义。例如，机器人是否应该微笑？最初，似乎很明显机器人应该微笑以向人致敬，使人感到舒服。微笑是一种普遍的热情和欢迎的表示。但如果机器人的微笑太逼真，这就会使人汗毛直立。（比如，万圣节的面具总是被做成魔鬼般的僵尸咧嘴笑嘻嘻的样子。）所以会微笑的机器人只能是儿童型的机器人（比如，大眼睛、圆脸），或者是完全与人类相同，没有任何失真之处。（当我们勉强微笑时，大脑通过前额叶皮层激活面部肌肉。而当我们因心情愉快而微笑时，神经由边缘系统控制，所激活的肌肉群有些不同。大脑可以告诉我们这两者的微小差别，这对我们的进化十分有益。）

这种效应还可以用大脑扫描来研究。假定把一个受试者放进磁共振成像（MRI）机中，让他观看一幅造型完全像人但身体运动有点不连贯和呆板的机器人照片。大脑无论何时看到任何东西都会预测物体将来的运动。所以，在看到这个类人机器人时，大脑会预测它的运动应该与人一样。但在发现它的运动更像机器时，大脑中就会出现不匹配的情况，这使我们感到不舒服。具体而言，顶叶会被激活（尤其是顶叶中运动皮层与视觉皮层相接触的部分）。人们相信镜像神经元处在顶叶区域。这的确有道理，因为视觉皮层接收到类人机器人的图像，运动皮层和镜像神经元会预测出它的运动。最后，在眼睛后面的眶额叶皮层会将这一切统合起来，告诉我们："嗯，有点不对劲。"

好莱坞的电影制作人深谙此道。拍摄恐怖片时，他们发现最吓人的场景并不是庞大的未知物或弗兰肯斯坦式的科学怪物从树林里突然蹿出，而是对正常情况做小小的改动。让我们回想一下电影《驱魔人》（The Exorcist）把影迷吓到逃出影院，跑到呕吐，有些甚至在座位上昏倒的是什么场景呢？是屏幕上魔鬼出现的时候吗？不是。全世界的剧院都是在琳达·布莱尔（Linda Blair）完全转过她的头的一刹那爆发出惊声尖叫。

这种效果可以用小猴子进行演示。如果给它们看吸血鬼或科学怪物的照片，它们只会大笑，然后把这些照片撕碎。但给这些小猴子看一张被砍头的猴子照片时，它们会恐惧得尖叫。这又一次证明，对正常情况的歪曲会引发最大的恐惧感。（在第2章中，我们提到意识的时空理论可以解释幽默的本质，因为大脑会模拟笑话的未来走向，然后在听到预想不到的结局时会很吃惊。这也可以解释恐惧的本质。大脑模拟出日常

事件的走向，当事物突然以恐怖的歪曲形象出现时，人们会被惊呆。）

正是这个原因，机器人的造型会一直保持儿童的模样，即使它们接近人类的智能，也会如此。只有当机器人可以完全像人一样在真实世界活动时，设计人员才会让它们长得完全像人。

硅意识

我们看到，人类意识是不同的能力经过几百万年进化构成的并不完善的拼凑物。如果拥有了关于物理世界和社会的知识，机器人也可能生成与我们相同的（或者在某些方面超过我们的）世界模型，但硅意识在两个关键领域也许会与我们不同：情感和目标。

历史上，人工智能研究者忽略了情感问题，认为它只是一个次要的问题。他们的目标是制造一个有逻辑、有理性的机器人，而不是情感纷乱并受情感驱使的机器人。因此，20世纪50年代和60年代的科幻小说总是强调机器人（以及像《星际迷航》中斯波克那样的类人机器人）拥有完美的、善于逻辑思考的大脑。

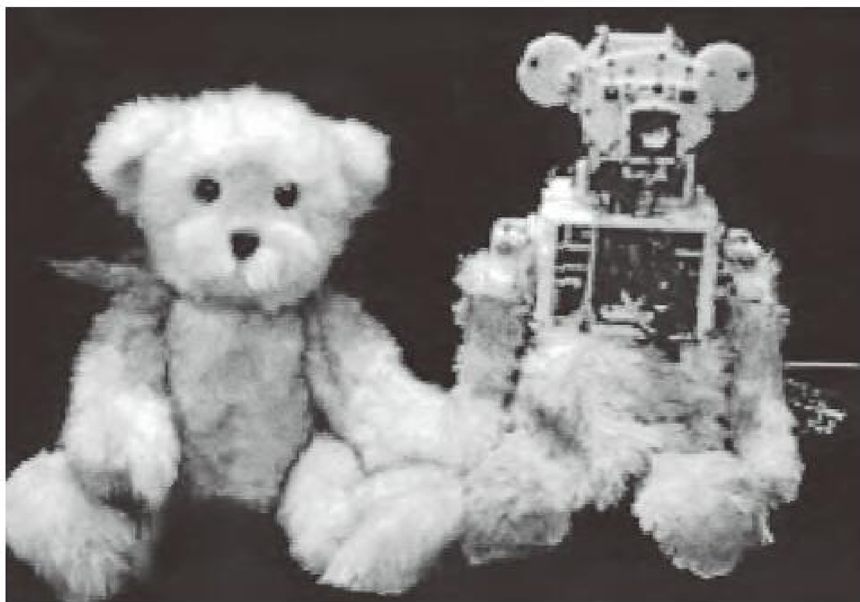
我们从恐怖谷现象中看到，必须找到合适的路径才能走进我们的家门，但有一些人认为机器人还应该拥有情感，这样我们才能与它们建立感情上的联系，才能照顾它们并与它们进行有益的互动。换句话说，机器人需要II级意识。为达成这一目标，机器人首先要能够识别出所有人类情感。将来，机器人可以通过分析细微的面部运动，如眼眉、眼睑、嘴唇、脸颊等部位的运动，识别出人（比如它的主人）的情感状态。麻省理工学院媒体实验室是一所在制造可识别并模仿情感的机器人方面表现优异的研究机构。我有幸几次参观这个位于波士顿郊外的实验室，感觉就像参观一家专门为成年人生产玩具的工厂。到处可见具有未来感的高科技装备，它们让我们的生活更有趣、更快乐、更便捷。

环绕房间一周，我看到实验室里有许多高科技图画，它们最后都出现在好莱坞电影中，如《少数派报告》（Minority Report）和《人工智能》（AI）。我在这个未来游乐场里闲逛，遇到两个令人着迷的机器人，哈格博（Huggable）和纳克西（Nexi）。它们的创造者辛西娅·布雷齐尔（Cynthia Breazeal）博士告诉我，这两个机器人都有特定的目标。哈格博是一个像泰迪熊一样的机器人，可以跟小朋友建立关系。它可以识别儿童的情感，安装了用于观察的摄像机，用于说话的扬声器，以及皮肤上有传感器（因此当有人给它搔痒、戳它一下或拥抱它时，它可以感知到）。到最后，这种机器人可以充当家庭教师、保姆、护士助手或玩伴的角色。

纳克西可以与成年人建立联系。它的造型有点像面团宝宝，圆圆胖胖的脸蛋，亲切的长相，大大的眼睛滴溜溜地转动。纳克西已经通过了一家疗养院的检验，所有老人都喜欢它。一旦老年人熟悉了纳克西，他

们会亲吻它，与它交谈，当它离开时还会想念它。（见图12）。

布雷齐尔博士告诉我，她设计哈格博和纳克西是因为她对之前的机器人都不满意，那些机器人的样子就像一个个装满线路、设备和电机的金属罐头。为了设计一个能够与人进行情感交流的机器人，她需要弄清楚怎样使它与我们一起互动，建立联系。另外，她希望自己的机器人不要停留在实验室的设备架上，希望它们能够走入真实的世界。麻省理工学院媒体实验室前主任弗兰克·莫斯（Frank　Moss）博士说："这就是为什么布雷齐尔在2004年决定开始制造新一代的社会机器人，它们可以在任何地方使用，如家庭、学校、医院、老人院等。"



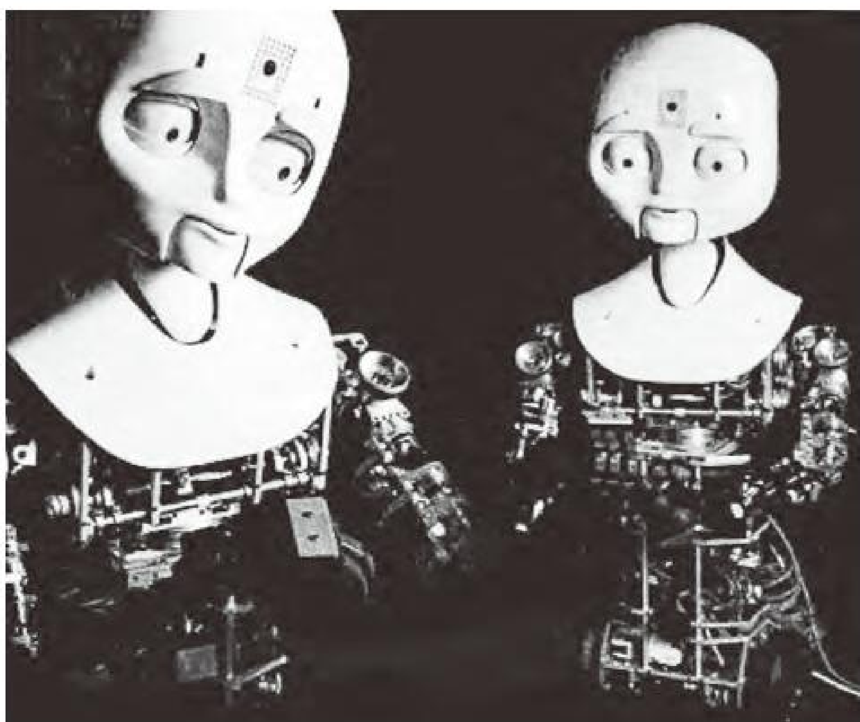


图12　哈格博（上）和纳克西（下），麻省理工学院媒体实验室制造的两个机器人，它们被设计成能够通过情感与人类互动。

在日本的早稻田大学，科学家们正在开发一种机器人，可以进行上半身活动，表达情感（恐惧、愤怒、惊讶、愉快、厌恶、悲伤），有听

觉、嗅觉、视觉和触觉。机器人的程序可以完成一些简单的任务，如补充能量和避开危险环境。他们的目标是纳入与情感有关的感觉，使机器人在不同情境下都能举止得当。

欧盟在这方面也是争先恐后，他们资助了一个正在进行中的名为“菲利克斯成长”（Feelix Growing，又译“感知成长”）的项目，要在英国、法国、瑞士、希腊和丹麦推进人工智能。

情感机器人

认识一下Nao（瑙）机器人。

当他开心时，他会伸出手臂迎接你，期待着一个大大的拥抱。当他悲伤时，他会低垂着头，表现出孤独与绝望，两个肩膀向前耸着。当他受惊吓时，他会恐惧地退缩，需要有人拍拍他的头安慰他。

他与一个一岁的男孩没什么两样，只不过他是一个机器人。Nao大约1.5英尺（**0.46**米）高，造型与玩具店里的机器人差不多，比如变形金刚，不过他可是这个世界上最先进的情感机器人之一。他由英国哈特福德大学的科学家制造，该项研究得到了欧盟的资助。

制造者给他编入了表现开心、悲伤、恐惧、兴奋和骄傲等情感的程序。其他机器人只具备基本的传达情感的面部动作和语言行为，而Nao在肢体语言方面（如姿势和手势）已经有非常高超的水平。瑙（Nao）甚至还会跳舞。

与其他只掌握一种特定情感的机器人不同，Nao掌握一系列的情感回应方法。首先，Nao锁定观察者的面部，进行识别，然后记住他之前与这些人互动的情况。其次，他开始跟踪这些人的活动。例如，他可以跟踪他们的目光，判断出他们正在看什么。第三，他开始与这些人建立联系，学习怎样对他们的身势进行回应。例如，如果你对他微笑或拍拍他的头，他就知道这是一种积极的信号。因为他的大脑具有神经网络，他可以在与人类的互动中进行学习。第四，Nao在与人的互动中可以表现出情感回应。（他的情感回应都经过编程，就像录音机一样，但由他来决定选择哪种情感以用到具体情境中。）最后，随着Nao与某一个人互动的深入，他就会越深入地理解这个人的心情，他们之间的联系也变得越来越牢固。

Nao不仅有个性，事实上他能同时表现出几种个性。由于他能在与人类的互动中进行学习，而每次互动都是独一无二的，最终他会表现出不同的个性。例如，其中一种个性可能十分独立，不需要人类的关心。另一种个性可能非常胆小、恐惧，害怕屋子里的物体，总是需要人的关心。

Nao的项目负责人是哈特福德大学的计算机科学家，洛拉·加纳梅罗

（Lola　Cañamero）博士。为了展开这项很有雄心的计划，她研究了黑猩猩之间的互动。她的目的是尽可能地复制一个一岁大的黑猩猩的情感行为。

她认为这些情感机器人可以立即投入应用。就像布雷齐尔博士一样，她希望这些机器人可以减轻生病住院的儿童的焦虑。她说："我们想研究不同的角色——机器人可以帮助儿童了解自己的治疗方案，向他们解释要做什么。我们希望帮助儿童控制自己的焦虑。"

另外一种可能性是，这些机器人可以成为疗养院中的陪伴。Nao可以成为医院员工很得力的助手。同时，像这样的机器人还可以成为儿童的玩伴，成为家庭中的一个成员。

圣迭戈附近的索尔克（Salk）生物科学研究所的泰伦斯·谢伊诺夫斯基（Terrence　Sejnowski）博士说："很难预测未来，但我们面前的计算机演变成一种社会机器人应该不会太遥远。你可以跟它说话，跟它谈情说爱，甚至可以对它发脾气，向它怒吼。它能够理解你，理解你的情感。"这些是容易做到的。困难的是评估机器人得到这些信息后会作出什么回应。如果主人生气不高兴，机器人应该把这种因素纳入到它的回应中。

情感：确定什么是重要的

此外，人工智能研究者开始认识到情感可能是人类意识的关键。像安东尼奥·达马西奥（Antonio　Damasio）博士这样的神经科学家发现，前额叶（负责理性思维）与情感中枢（例如边缘系统）的连接发生损坏时，病人就不能进行价值判断。即使进行最简单的决策（买什么东西，什么时候约会，用什么颜色的笔），他们都会陷入瘫痪，因为每件事对他们来说都具有相同的价值。因此，情感并不是什么无关紧要的奢侈品，它有着绝对的重要性，没有情感，机器人就无法确定什么是重要的和什么不是。所以，情感现在不再居于人工智能研究的边缘，而是占据了中心地位。

如果机器人遇到大火，它可能会首先抢救电脑资料，而不是抢救人，因为它的程序可能会认为有价值的文件不能复制，而工人总是有替代者。所以，关键的一点是，机器人的程序需要判断什么是重要的，什么是不重要的，而情感正是大脑用来快速确定这一点的捷径。因此，机器人的程序也应该建立这种价值体系：人的生命比物体更重要，应在紧急事件中先抢救儿童，价格高的物体比价格低的物体更有价值等。由于机器人并非天生就具有价值判断，所以必须给它上传一张庞大的价值判断清单。

然而，情感带来的问题是，它有时并不理性，而机器人具有数学般的精确性。所以硅意识与人类意识可能有着本质上的不同。例如，人类

几乎无法控制情感，因为情感来得非常快，也因为它产生于人大脑的边缘系统，而非前额叶皮层。此外，人类情感经常带有偏见。无数的实验表明，我们倾向于高估那些长相俊美的人的能力。这些人在社会中很可能会有更好的前途，更好的就业，虽然他们的能力不一定比其他人强。正如常言道的："美丽有特权。"

同样，硅意识也许并不考虑人类在交往中所使用的那些微妙的信号，比如身势语言。当我们进入房间时，年轻的人通常会礼让年长的人以表示尊敬，职位低的人会对上司格外礼貌。我们通过身体的移动、语词的选择以及我们的体态手势表现出尊敬。因为身势语言比语言本身更为古老，已经以精微的方式写进了我们的大脑中。如果要机器人与人类进行社交互动，那么它们就需要学会这些潜意识性的信号。

我们的意识受到进化过程中具体事物的影响，这是机器人不具备的，所以硅意识中可能不会出现人类意识中的缺陷或怪癖。

情感菜单

由于情感要通过外部编程赋予机器人，所以制造者需要提供一份精心选取的情感菜单，判断哪些必要，哪些有用，哪些有助于巩固主人与机器人之间的联系。

非常可能的是，机器人的程序中只包括几种人类情感，这取决于具体情境。也许机器人的主人最看重的是忠诚。我们希望自己的机器人忠实地完成自己的指令，毫无抱怨，希望它明白主人的意图，甚至预知这些意图。主人最不希望的是有自己态度的机器人，不希望它们回嘴、批评人类或抱怨。有益的批评很重要，但这些必须以一种建设性的、策略性的方式作出。另外，如果人们给出的指令相互矛盾，机器人应该知道只听从主人的指令，忽略其他人的所有指令。

同感是另外一种主人会看重的情感。有同感能力的机器人能够理解他人的问题，给他们提供帮助。通过理解面部运动，聆听声音语调，机器人能够判断出一个人是否处在困境中，并在可能的情况下提供帮助。

奇怪的是，恐惧也是一种有益的情感。进化赋予我们恐惧的感情并非偶然，它让我们避开危险的事物。即使机器人由钢铁制成，它们也应该害怕那些会对它们造成伤害的事物，如从高楼上掉落或被大火吞没。如果机器人完全无畏地毁了自己，它就什么用处都没有了。

但有些情感需要删除、禁止或严格管控，如愤怒。假设我们所制造的机器人有着强大的体力，如果它发脾气就会在家庭中和工作场所中造成巨大的问题。愤怒会影响它的职责，也会带来很大的财产损失。（愤怒进化出来的原始目的是表达我们的不满。这能够以理性的、冷静的方式实现，而不必愤怒。）

另外一种应该删除的情感是控制欲。爱发号施令的机器人只会带来麻烦，会挑战主人的判断和愿望。（这一点对后面的内容也很重要，我们将讨论机器人有一天是否会接管人类。）所以要使机器人听从主人的意愿，即便这不是最好的路径。

但是，也许最难传达的情感是幽默，这是把陌生人联系在一起的纽带。一个小笑话能够缓解紧张的局面，也会将其引爆。幽默的基本原理十分简单：其中包含一个出乎意料的妙语。但幽默的细微之处却包罗万象。事实上，我们总是会从一个人对某些笑话作何种反应来判断他的为人。如果人类把幽默作为一种测量器来评判别人，那么我们就能理解制造出可以听出笑话可不可笑的机器人的困难之处。例如，罗纳德·里根（Ronald Reagan）总统用妙语化解难题的功夫十分有名。他真的积攒了一大堆写有笑话、讽刺警句和俏皮话的卡片，因为他懂得幽默的力量。（有些博学之士认为他赢得与沃尔特·蒙代尔（Walter Mondale）的大选辩论，是因为当被问及他当总统是否太老了时，他的回答是他不会以对方的年轻攻击对方。）不过，不恰当的幽默会造成灾难性的后果（事实上有时也是一种精神疾病的征兆）。机器人需要知道和别人一起笑与嘲笑别人的差异。（演员们非常清楚笑的这两种属性。他们通过娴熟的技巧制造出代表幽默、讽刺、愉悦、愤怒、悲伤等不同情感的笑声。）所以，除非人工智能理论已经非常发达，不然机器人还是应该不要幽默和笑声为好。

给情感编程

在上面的讨论中，我们没有涉及究竟怎样把情感程序写入计算机这个难题。因为情感的复杂性，给它们编程可能需要分阶段进行。

首先，最容易的部分是通过分析人的面部、嘴唇、眼眉和声调等符号来识别情感。当今的面部识别技术已经能够编出一部情感词典，告诉我们特定面部表情传达什么特定含义。这个研究进程可以追溯到查尔斯·达尔文，他花了大量时间编纂记录人类和动物共有的情感。

其次，机器人必须能够对这种情感做出快速回应。这也比较简单。如果有人在笑，那么机器人也应该咧嘴笑。如果有人生气，那么机器人应该闪开，避免冲突。机器人的程序中会有一部情感的百科全书，这样它就能知道怎样对每个情感做出快速反应了。

第三个阶段也许是最为复杂的，因为它关乎确定原始情感背后的潜在动机。这非常困难，因为一种情感可以由不同的情景引发。笑可能意味着某人开心，也可能意味着他听了一个笑话或者看到别人摔了一跤。或者，还可能意味着这个人紧张、焦虑或侮辱别人。同样，如果某人尖叫，也许是有紧急情况，也许只不过是他开心或惊讶。确定情感背后的原因是一种甚至是人类自己都觉得有困难的事情。为达到这一点，机器人需要列出一种情感背后的各种可能原因，确定其中最能讲得通的一

个。也就是说，要找出与数据最为匹配的情感原因。

第四，机器人确定了情感来源之后，它需要做出相应的反应。这也比较困难，因为通常会有几种可能的反应，错误的反应会使得情况更糟。机器人的程序中已经有了对原始情感作如何反应的清单。它还要计算出哪一种反应是当下情境中最适合的，这就意味着对未来进行模拟。

未来机器人会说谎吗？

一般情况下，我们会认为机器人总是冷冰冰地进行分析，富于理性，总是说真话。但是，如果要机器人融合到社会中，它们就可能必须学会说谎，或至少有策略地保留自己的意见。

在生活中，我们一天会遇到好几次必须说善意谎言的情况。如果别人问我们，他们长得怎么样，我们一般不敢说实话。善意的谎言就像润滑剂一样，能够使社会的运转更平滑。如果要我们突然完全说真话（就像《大话王》［Liar Liar］中金·凯利［Jim Carry］的角色），很可能会造成混乱，并伤害别人。如果你告诉别人他们的真实模样，或者你的真切感受，他们会觉得受到冒犯，老板会炒你的鱿鱼，情人会抛弃你，朋友会离你而去，陌生人会给你一巴掌。一些想法最好还是藏在心里。

同样，机器人可能也需要学习说谎或隐瞒事实，不然它们就会冒犯人类，被主人解雇。如果机器人在聚会上说实话，这可能让主人十分难堪，造成混乱。所以，如果有人询问它的意见，它应该学会闪烁其词，学会外交辞令和策略性语言。它要么回避问题，改换话题，说些陈词滥调，用问题回答问题，要么就说善意的谎言（这些都是现在的聊天机器人所擅长的）。这说明，机器人的程序中已经有了一张如何做出逃避性回应的清单，必须从中选择一种使事情最为简化的回应。

需要机器人完全说真话的少数场合之一是对主人的直接提问进行回答，主人可以理解这个答案可能真实而残酷。或许仅有的另外一个需要机器人说真话的场合是警察办案的时候，这时需要完全的真相。除此之外，机器人可以自由地说谎，或者隐瞒事实。这样，社会的车轮才会顺利转动。

换句话说，机器人必须社会化，就像十几岁的青少年一样。

机器人能感觉到疼痛吗？

我们一般会给机器人安排枯燥、肮脏或危险的工作。机器人没有理由不做无休止的重复或肮脏的工作，因为我们不会给它们编入感觉到枯燥或厌恶的程序。真正会产生问题的是当机器人面对危险工作的时候。这种情况下，我们会希望对机器人编程使它能够感觉到疼痛。

我们进化出痛感，是因为它能帮助我们在危险环境中存活。儿童如果生下来就没有感觉疼痛的能力，这是一种基因缺陷，称为先天性无痛症。表面看来，这似乎是一种福分，因为儿童在经历伤害时不会感到疼痛，但事实上这更是一种诅咒。患这种病的儿童会遇到严重的问题，比如咬掉自己的舌头，皮肤严重烧伤，割伤自己，有时会导致手指截肢。疼痛使我们对危险保持警觉，告诉我们什么时候从燃烧的炉子上把手拿开，什么时候停止带着扭伤的脚跑步。

某些时候，机器人的程序设计也应该使它感觉到疼痛，不然它们将不会知道什么时候躲避危险。它们必须具有的第一种疼痛感是饥饿（即渴望得到电能）。当电池用尽时，它们会变得绝望、着急，意识到不久自己的电路就会关闭，自己的所有工作会陷入一团糟。它们越是接近没电，就越发焦虑。

同样，不管它们有多么强壮，机器人也会偶然遇到所搬运的物体太重，可能把肢体弄断的情况。或者，它们在钢铁厂的工作会接触到熔化的金属，或者进入燃烧的大楼去帮助消防员时可能会遭遇过热。温度和压力传感器会警告它们自己的设计规定已经被突破了。

但是，一旦在它们的情感清单中加入疼痛感，就会立即出现道德问题。很多人认为我们不应该给动物施加不必要的疼痛，对机器人，人们也可能有相同的感情。这就引出了机器人的权利问题。我们可能会颁布法律限制机器人要面对的疼痛和危险值。如果机器人做的是枯燥或肮脏的工作，人们并不会在意，但如果它们在从事危险工作时感到疼痛，人们可能就会开始提议立法保护机器人。这甚至会引起法律冲突，机器人的主人和制造商要求提高机器人能够忍受的痛感，而道德人士要求降低这种痛感。

这还可能会引发有关机器人其他权利的道德辩论。机器人可以拥有财产吗？如果机器人偶然伤害到人会怎么样？能够对机器人进行诉讼，对它们进行惩罚吗？在诉讼中由谁承担责任？机器人可以拥有另外一个机器人吗？这种讨论引出了另外一个棘手的问题：应该给机器人道德感吗？

道德机器人

最初，人们认为制作道德机器人的想法似乎是在浪费时间和精力。然而当我们意识到机器人会进行生死攸关的决策时，这个问题就有了紧迫性。由于它们体格强壮，有着解救生命的能力，它们有时就不得不针对先救谁做出快速的道德选择。

假设发生了一场灾难性的地震，儿童被困在一座快速坍塌的大楼里。机器人应该怎样分配自己的能量？它是否应该努力解救尽可能多的儿童？或年龄最小的？或最脆弱的？如果废墟残片太重，机器人的电子

系统可能遭受伤害。所以机器人还要决定另外一个道德问题：它要在所解救的儿童数量与它自己能够承受的电子伤害之间做出怎样的权衡？

如果没有恰当的程序，机器人会停在那里，等待人类做出最后决定，从而浪费宝贵的时间。所以应该有人提前编好程序，使机器人能够自治地做出“正确的”决定。

这些道德决定应该在一开始就进入电脑程序，因为没有任何数学规律可以对解救儿童赋予价值概念。在这个程序中，应该有一个长长的清单，所列事项按照其重要性排序。这是一种令人生厌的工作。事实上，一个人学到相关道德准则可能要花一辈子的时间，但机器人要安全地进入社会，它们就必须很快学习这些内容，在它们离开工厂之前学会。

只有人能够完成这项任务，即便如此，道德问题有时还是会使我们迷惑。但这引出了下面的问题：谁来做决定？谁来决定机器人以怎样的顺序解救人类生命？

关于最终怎样做出这些决定的问题很可能由法律和市场共同解决。我们所通过的法律至少要囊括紧急情况下救人的顺序。但除此之外，还有成千上万个更为细微的道德问题。这些微妙的决定可以通过市场和常识做出。

如果你为一家负责重要人物安全的安保公司工作，你就会告诉机器人在不同情况下以怎样的顺序救人，要考虑的因素包括主要职责以及预算。

如果一个罪犯购买了一个机器人，并要求机器人犯罪会怎么样呢？这引出的问题是：在机器人被要求违法时，是否应该允许机器人反抗主人命令？我们从前一个例子看出，机器人的程序必须使其理解法律并做出道德抉择。如果它判定自己的任务是违法的，它就必须反抗主人的命令。

这里还有机器人反思主人的信念所引起的道德困境，主人可能有着不同的道德理念和社会标准。如果机器人能够思考主人的观念和信念，人类社会中的“文化战争”只会被放大。在某种意义上，这种冲突不可避免。机器人是其创造者的梦想和愿望在机械上的延伸，而当机器人已经复杂到可以做出道德抉择时，它们便真的会这样做。

当机器人开始表现出挑战我们的价值观和目标的行为时，社会中正确与错误的分界线可能会得到加强。刚刚离开一场喧闹的摇滚音乐会的年轻人，他们拥有的机器人会与附近安静社区中的老年居民拥有的机器人发生冲突。前面这些机器人的程序可能是放大乐队的音响，而后面的机器人却要把噪音水平降到最低。狂热虔诚的原教旨主义者所拥有的机器人可能会与无神论者拥有的机器人进行争论。来自不同国家和文化的机器人，它们的设计会反映各自社会的风俗习惯，而这也会发生冲突（先别说机器人，对人类也是如此）。

怎样对机器人编程来消除这些冲突呢？

无法去除。机器人只会反映其创造者的偏见。最终，这些机器人的文化和道德差异将不得不诉诸法庭审判。没有物理定律或科学法则能够判决这些道德问题，所以最后需要通过法律来处理这种社会冲突。机器人不能解决人类造成的道德困境。事实上，机器人只会放大这种困境。

但如果机器人能够做出道德和法律抉择，它们是不是也能体会并理解感觉呢？如果它们成功地解救了某个人，它们能不能感受到快乐？或者更进一步，它们能感觉到诸如红颜色这样的事情吗？冷静地分析救人的道德问题是一回事，理解、感觉是另一回事。机器人有感觉吗？

机器人会理解或感觉吗？

几个世纪以来，关于机器人是否能够思考、是否能够感觉，涌现了大量的理论。我自己的哲学是“建构主义”（constructivism），即不要没完没了地、无意义地争论这个问题，我们应该将精力投入到机器人制造中，看看我们能够达到什么样的水平。否则，我们就陷入了无休止的哲学思辨，问题无法得到最终解决。科学的优势在于，一旦所有事情都弄清做好后，我们可以进行实验来准确地解决问题。

所以，要解决机器人是否能够思考的问题，最终的方法是制造一个机器人出来。不过有些人认为，机器永远不可能像人一样思考。他们最有力的论据是，虽然机器人对于事实的处理要快过人类，但它并不能“理解”自己在处理的是什么。虽然它对感觉（如颜色和声音）的处理要好过人类，但它并不是真正地“感觉”或了解“经历”这些感觉的内涵。

例如，哲学家戴维·查默斯（David Chalmers）把人工智能的问题分为两类：简单问题和复杂问题。对他而言，简单问题是制造越来越会模仿人类能力的机器，如下棋、数字计算、识别某些图形等。复杂问题涉及制造可以理解感情和主观感觉的机器，这些被称为“可感受性”（qualia）。

他们认为，这种情况与向盲人传达红色的意义一样，机器人永远不可能了解红色的主观感觉。或者，一台计算机可以很流利地将汉语翻译为英语，但它无法理解它翻译的是什么。在这个图景中，机器人就像光彩夺目的录音机或计算器，在准确记忆信息、处理信息方面的表现令人吃惊，但却没有任何理解。

应该严肃地对待这些论据，但看待可感受性和主观感觉问题还有另一种方法。未来，机器很可能会比人类更好地处理感觉，如红色。它将能够比人类更好地描述红色的物理属性，甚至是更好地把它用在文学性的句子中。机器人是“感觉”到红色吗？由于“感觉”这个词并没准确定义，所以这个问题并不重要。将来的某个时刻，机器人对红色的描写可能超过人类，然后机器人会不无道理地问：人类真正懂得红色吗？也许

人类无法真正理解机器人能够理解的关于红色的细微信息。

行为主义者伯尔赫斯·弗雷德里克·斯金纳（B.F.Skinner）曾经说过：“真正的问题并不是机器人能否思考，而是人类能否思考。”

同样，机器人将能够定义汉语字词并比任何人用得都好，这只是时间问题。到那时，机器人是否“懂得”汉语的问题就不重要了。对于所有实际问题而言，机器人对汉语的掌握要好于人类。换句话说，“懂得”这个单词也没有被准确定义。

随着机器人使用单词和操控感觉的能力超过我们，有一天机器人是否“懂得”或“感到”单词和感觉都将不重要。这个问题不再具有任何重要性。

数学家约翰·冯·诺依曼（John von Neumann）说：“在数学中，你不是理解事物。你只是习惯它们。”

所以，问题并不在于硬件，而在于人类语言的本质，其中的字词并没有准确的界定，对不同人会有不同解释。有人曾经问伟大的量子物理学家尼尔斯·玻尔（Niels Bohr），怎样理解量子理论中的深刻的悖论。他的回答是，答案在于你怎样界定“理解”一词。

塔夫斯大学的哲学家丹尼尔·丹内特（Daniel Dennett）博士写道：“没有什么客观的实验可以把一个聪明的机器人与一个有意识的人区分开。现在你面临一个选择：要么执着于这个复杂问题，要么在惊叹中摇摇头忽略它。就这样吧。”

换句话说，所谓的复杂问题并不存在。

就建构主义哲学而言，问题不在于辩论一台机器能不能感觉到红色，而在于建造这台机器。在这个图景中，描述“理解”和“感觉”这两个单词会有连续的各种级别。（这意味着，也许甚至可能给不同程度的理解和感觉标定不同数值。）在这个体系的一端，我们看到的是今天笨重的机器人，它们只能操作几个符号，仅此而已。在另一端就是我们人类，我们为自己能够感觉到“可感受性”而自豪。但随着时间的推移，机器人描写感觉的能力最终会在所有层次上超过我们。那么很明显它们能够“理解”。

这就是艾伦·图灵（Alan Turing）著名的图灵测验背后的思想。他预言，有一天我们将制造出能够回答所有问题的机器人，它与人类将没什么不同。他说：“如果一台计算机能够欺骗一个人，让他相信自己是人类，那么这台计算机就堪称智能。”

物理学家、诺贝尔奖得主弗朗西斯·克里克（Francis Crick）表述得最为精准。在20世纪，他注意到生物学家在激烈地辩论“什么是生命”这个问题。现在，我们有了关于DNA的知识，科学家们意识到这个问题并

不清晰。这个简单的问题背后有着很多变化、层次和复杂性。“什么是生命”的问题就这么渐渐消失了。相同的情况也可能最终出现在感觉和理解上。

有自我意识的机器人

要使沃森那样的计算机具有自我意识需要采取什么步骤呢？要回答这个问题，我们必须回到我们对自我意识的定义：这是一种能力，能将自己置于一个环境模型中，然后在未来模拟这个环境模型以达到某个目的。完成第一步需要很高的常识水平，这样才能预见未来事件。然后，机器人需要把自己置于这个模型中，这要求机器人对自己可能采取的各种行为有所理解。

明治大学的科学家们已经开始了制造具有自我意识的机器人的第一步。这是一项非常困难的任务，但他们认为用心灵理论制造一个机器人可以实现它。他们先制造了两个机器人。在第一个机器人中编入完成某些动作的程序，第二个机器人编入观察第一个机器人后予以模仿的程序。他们能够制造出完全靠观察第一个机器人就能系统地模仿它的行为的机器人。专门制造具有某种自我意识的机器人，这在历史上是首次。第二个机器人具有一种心灵理论，即它可以通过观察另外一个机器人模仿它的行为。

2012年，耶鲁大学的科学家们进行了第二步，他们制造出了可以通过镜像测试的机器人。把动物放到镜子前，它们中的大多数都会认为镜子里的影像是另外一个动物。在我们的记忆中，只有少数动物通过了镜像测试。耶鲁大学制造出的机器人尼克（Nico）造型类似一副瘦长的导线骨架，具有机械手臂，顶部有凸出的双眼。把尼克放到镜子前，它不仅会认出自己，而且可以通过观察镜子中其他物体的镜像推测出它们的位置。这与我们开车时看后视镜，推测出我们后方物体的位置十分相似。

尼克的程序设计员贾斯汀·哈特（Justin Hart）说：“就我们所知，这是第一个能够这样使用镜子的机器人系统，是迈向一种机器人通过自我观察来自了解自身和长相的严密架构的重要一步，这是通过镜像测试所需要的非常重要的能力。”

由于明治大学和耶鲁大学的机器人代表了制造自我意识机器人的最先进技术，我们很容易看出科学家们距离制造出具有人类一样的自我意识的机器人还有很长的路要走。

他们的工作仅仅是一个开始，因为我们对自我意识的定义是要求机器人能够利用这种信息对未来进行模拟。这大大超出了尼克和其他机器人的能力。

这引出了一个重要的问题：计算机怎样获得自我意识？在科幻小说

中，我们经常遇到互联网突然获得自我意识的情景，比如电影《终结者》。由于互联网是涉及整个现代社会的基本设施（比如我们的下水道系统、电力系统、电信、武器），具有自我意识的互联网就很容易控制这个社会。在这种情况下，我们是无助的。科学家们写道，这可能是一种“突生现象”（即，当我们集聚了足够多的计算机时，它们可能一下子跃升到下一个级别，无须外部的输入）。

然而，这好像囊括了所有的事，又好像什么都没说，因为中间的重要阶段都被忽略了。就好像是在说，只要道路足够多，高速公路就会突然具有自我意识。

但在本书中，我们给出了意识和自我意识的定义，由此我们可以列出互联网获得自我意识所需的步骤。

第一步，智能的互联网应该不断地对自己在世界中的位置建立模型。在原则上，这种信息可以从外部输入进互联网。这会涉及对外部世界的描写（如地球、城市和计算机），而这些都能在互联网上找到。

第二步，互联网要把自己置于这个模型之中。这种信息也很容易获得。这涉及对互联网的各个方面（计算机的数量、节点、传输线路等）以及它与外部世界的关系给出说明。

第三步是目前最困难的，需要为达成某个目标在未来不断模拟这个模型。这里我们遇到了巨大的障碍。互联网没有对未来进行模拟的能力，它也没有具体目标。即使在科学世界中，模拟未来也通常仅能在少数几个参数上实现（比如模拟两个黑洞的碰撞）。模拟包含互联网在内的整个世界完全超出了当今的编程能力。这可能包括纳入所有常识法则，所有物理学、化学和生物学规律，也包括纳入人类行为和人类社会的事实。

此外，智能互联网需要具有目标。今天，它只是一条被动的高速公路，没有方向，没有目标。当然，我们在原则上可以把一个目标强加给互联网。但是让我们考虑一下这个问题：我们可以制造出目标在于自我保护的互联网吗？

这也许是最简单的目标，但没人知道怎样为它编程。比如，这个程序会防止所有拔下插头停止网络的企图。目前，互联网完全没有能力识别出有什么能威胁它的存在，更不要说想出方法防止这些威胁了。（例如，有识别威胁能力的互联网需要认出各种企图，如关闭电源、切断通信线缆、摧毁服务器、阻断光纤和卫星连接等。另外，有能力预防这些攻击的互联网还要具备对每种情况的反制措施，然后在未来予以实行。地球上还没有计算机能够做到哪怕是其中最小的一点。）

换句话说，有一天我们可能会制造出具有自我意识的机器人，甚至是具有自我意识的互联网，但那一天十分遥远，也许要在本世纪末了。

但若假设这一天已经到来，有自我意识的机器人正行走在我们中间。如果这样一个机器人的目标能与我们的目标相融合，那么这种人工智能就不会造成问题。但如果机器人的目标与我们的目标不一样会怎么样呢？我们担心的是，人类会被具有自我意识的机器人超过，成为它们的奴隶吗？这些机器人由于拥有模拟未来的超强能力，它们可以预测出许多情况的结果，然后找出推翻人类的最佳手段。

控制这种可能性的一种方法是确保这些机器人的目标是善意的。我们已经看到，仅仅模拟未来并不够。这些模拟必须服务于最终目标。如果一个机器人的目标仅仅是保全自己，那么它就会防卫性地应对所有拔掉电源的企图，这对于人类来说可能意味着大麻烦。

机器人会接管一切吗？

在几乎所有的科幻小说中，机器人都是危险的，因为它们有接管一切的欲望。事实上，“机器人”（robot）这个单词来自于捷克语，意思是“工人”，首先出现在卡雷尔·恰佩克（Karel apek）1920年的戏剧《罗素姆的万能机器人》（Rossum’s Universal Robots）中，戏中科学家们制造出一个与人类长得相同的机械新物种。很快，上千个机器人开始从事卑贱的和危险的工作。但人类对它们很不友好，最后它们奋起反抗，摧毁了人类物种。虽然这些机器人接管了地球，但它们有一个缺陷：无法繁衍。戏剧的最后，两个机器人相爱了。所以，也许一种新的“人类”又将诞生。

电影《终结者》提供了另外一种更真实的情景，由军队制造的超级计算机网络“天网”控制了美国的核武器库。有一天，它突然醒来，有了知觉。军队试图关闭天网，但发现程序中有一个漏洞：网络有自我保护设计，而为达到这个目的，唯一的方法就是消灭问题的来源：人类。它发动了核战争，最后使人类成为反抗机器主宰的一群乌合之众。

机器人当然可能成为威胁。当今的捕食者无人机可以精准地消灭目标，而人是在几千英里之外通过操作杆控制它的。根据《纽约时报》的报道，开火的命令直接由美国总统下达。但未来捕食者可能会应用人脸识别技术，如果它对目标身份的确信程度达到99%，它就有权开火。无须人类的介入，它可以应用这项技术自动向任何符合信息档案的人开火。

现在假设这种无人机出现系统崩溃，它的人脸识别软件发生故障。那它就变成了流氓机器人，有可能杀死出现在视野中的所有人。更为糟糕的是，设想这样一个由中央司令部控制的机器人战队。如果中央计算

机中的一个晶体管元件烧坏，出现故障，那么整个战队就可能进行持续杀戮。

如果机器人顺利运行，没有故障，但它们的编程和目标有一些无关痛痒的缺陷，这时会出现更为微妙的问题。对于机器人来说，自我保护是一个重要的目标，同样重要的是保护人类。当这些目标相互冲突时，真正的问题就来了。

在电影《我，机器人》（I, Robot）中，计算机系统认定人类有自我毁灭的趋势，他们总是不断进行战争，发动暴行，保护人类物种的唯一办法是接管人类，建立由机器主导的温和统治。这种目标冲突不是发生在两个不同目标之间，而是针对一个不现实的目标出现的。这些具有杀人倾向的机器人没有出现故障，它们从逻辑上推理出保护人类的唯一方法是接管社会。

解决这个问题的一种方法是建立目标等级。例如，帮助人类的愿望必须排在自我保护之上。电影《2001：太空遨游》采用了这个主题。电脑系统HAL 9000（哈尔**9000**）具有感觉能力，能够与人类轻松沟通，但HAL 9000接收到的命令是自相矛盾的，在逻辑上无法完成。在尝试达成不可能的目标的过程中，它从平台上掉了下来，它疯了，而要遵从由不完美的人类发出的矛盾的命令，唯一的办法是消灭人类。

最好的方法也许是建立一套新的机器规则，要求机器人不能伤害人类，即使这与它们之前收到的指示相矛盾。它们的程序必须能够忽略命令中一些等级较低的矛盾，并总是遵守那些最高的法律。不过在最好的情况下，这也仅是一个不完美的系统。（例如， 如果机器人的中心任务是保护人类，而不管其他目标，那么这就取决于机器人怎样定义“保护”这个词。它们对这个词的机械定义与我们的定义可能不同。）

一些科学家，如印第安纳大学的认知科学家道格拉斯·霍夫施塔特（Douglas Hofstadter）博士并不担心这种可能性，他们没有表现出恐惧。在我对他的采访中，他告诉我，机器人是我们的孩子，所以我们为什么不能像爱自己的孩子一样爱它们呢？他告诉我，他的态度是我们爱自己的孩子，即使知道孩子将来会接管这个世界。

我采访了卡内基梅隆大学人工智能实验室前主任汉斯·莫拉韦克（Hans Moravec）博士，他同意霍夫施塔特博士的看法。在他的著作《机器人》（Robot）中，他写道：“我们思维的孩子（指机器人）从生物进化缓慢的步伐中走出来，将会自由地成长面对更大的世界中巨大而深刻的挑战……我们人类在一段时间内会从它们的劳动中获益，但……与我们自己的孩子一样，它们将寻找自己的命运，而我们这些老去的父母会默默地消失。”

与之相反，另外一些人认为这是一种非常糟糕的解决办法。也许在一切都还来得及时，如果我们对自己的目标和看重的事情做出改变，这

个问题还是可以解决的。因为机器人是我们的孩子，我们可以“教导”它们和善些。

友好的人工智能

机器人是我们在实验室中制造出来的机械生物，所以我们制造出来的是杀手机器人还是友好机器人取决于人工智能研究的方向。很多研究资金来自于军方，专门用于赢得战争，因此可以确定的是确有出现杀手机器人的可能性。

不过由于全世界30%的商用机器人由日本制造，这就出现另外一种可能性：机器人可以在一开始就被设计成有用的玩伴和工人。如果由消费市场主导机器人科学研究，那么这个目标就有可能实现。“友好的人工智能”的理念是，从一开始，机器人制造者就应该编入使机器人对人类有益的程序。

在文化上，日本人研究机器人的方法与西方不同。西方的孩子在看到类似“终结者”那样暴躁的机器人时会感到恐惧，而日本儿童浸淫在神道教中，相信一切皆有神灵，即使机械的机器人也是如此。所以当日本儿童遇到机器人时，他们会兴高采烈地尖叫，而不是感到不自在。所以，这些机器人广泛地出现在日本市场和家庭中一点也不奇怪。它们出现在百货公司中，与你打招呼，出现在电视上，参与教育节目。日本甚至还有一部严肃的电视剧以机器人为主角。（日本接受机器人还有另外一个原因。这些机器人将会承担这个老龄化国家的护士任务。日本21%的人口超过65岁，而其老龄化的速度超过所有国家。在某种意义上，日本是一列蹒跚前行的破旧列车。这里有三个人口因素。第一，日本女性拥有这个世界上最长的寿命。第二，日本的出生率为世界最低。第三，日本有着严格的移民政策，99%的人口为纯种日本人。如果没有年轻的移民照料老年人，日本就只能依赖机器人护士。这个问题不仅限于日本，欧洲会是下一个。意大利、德国、瑞士和其他欧洲国家也面临着同样的人口压力。日本和欧洲的人口可能在本世纪中叶遇到最严重的缩减。美国也没有好到哪里去。本土美国公民的出生率在过去几十年中也快速下降，不过移民会使美国的人口在本世纪持续增长。换句话说，机器人是否能把我们从这三个人口噩梦中挽救出来，这可能是一个价值万亿美元的赌局。）

在制造进入个人生活的机器人方面，日本领先于世界。日本人制造出了可以做饭的机器人（一个机器人能够在1分40秒内做出一碗面条）。走进一家餐馆，你可以在平板电脑上点菜，然后机器人就快速行动起来。它拥有两个大型机械手臂，能够抓取碗、勺子和刀叉，然后为你准备食物。一些机器人厨师甚至能赶上人类厨师。

还有能够提供娱乐的音乐机器人。有一个音乐机器人真的拥有手风琴一样的“肺”，可以抽送气体，使其通过乐器产生音乐。还有机器人女

佣。如果你把洗完的衣服仔细放好，它会在你面前把它们叠好。甚至还有可以说话的机器人，它有人工的肺、嘴唇、舌头和鼻腔。例如，索尼公司制造了AIBO（爱宝）机器人，它的形态像一只狗，如果你爱抚它，它可以记录下很多种情绪。一些未来学家预测，机器人产业有一天可能会发展到今天汽车产业的规模。

这里的重点在于不必要把机器人编程为摧毁型的或统治型的。人工智能的未来在于我们自己。

但是，一些人批评“友好人工智能”，认为机器人可能接管世界，并不是因为它们有侵略性，而是因为我们制造它们时太过粗心。换句话说，如果机器人接管世界，那会是因为我们把它们编成了具有对抗性的目标。

“我是一台机器”

在我对麻省理工学院人工智能实验室前主任，iRobot（我是机器人）公司联合创始人，罗德尼·布鲁克斯博士的采访中，我问他是否认为机器有一天会接管世界。他告诉我，我们只需要承认自己也是机器就可以了。这意味着有一天，我们将能制造出与我们一样活着的机器。但他警告说，我们将不得不放弃我们具有“特殊性”的观念。

人类视角的这种变化始于尼古拉·哥白尼（Nicolaus Copernicus），他意识到地球不是宇宙的中心，它围绕着太阳转。接着是达尔文，他表明在进化中我们与动物是相似的。布鲁克斯博士告诉我，这个变化还会一直持续到未来，我们会意识到自己也是机器，不同点在于我们由“湿件”构成，而不是“硬件”。

他认为，承认我们也是机器将会成为人类世界观的一次重大改变。他写道：“我们不太喜欢放弃自己的‘特殊性’，因此，机器人真的有情感，或者机器人成为活着的生物，这样的观点我觉得很难被我们所接受。但在下一个50年里，我们会慢慢接受的。”

但是，对于机器人最终是否会接管世界的问题，他说这不太可能发生。这有多种原因。第一，没有人会偶然制造出一个想统治世界的机器人。他说，制造出一个能够突然地控制世界的机器人，就像某个人偶然制造出波音747喷气式客机一样。第二，我们有足够的时间阻止这种事情发生。在某人制造出“超坏的机器人”之前，他得先制造出“比较坏的机器人”，而在此之前，他还要制造出“不那么坏的机器人”。

他归纳他的哲学观念说：“机器人来了，但我们无须过分担心。这会有很多乐趣。”对于他来说，机器人革命肯定会到来，他预见到有一天机器人的智能将超过人类。唯一的问题是什么时候发生。但这没有什么可恐惧的，因为我们是它们的制造者。我们有权利选择制造出能够帮助我们的，而不是阻碍我们的机器人。

与它们融合？

如果你问布鲁克斯博士，我们怎样与这些超级聪明的机器人共存，他的回答会十分直接：“我们将与它们融合。”随着机器人科学和神经假肢科学的发展，把人工智能植入我们的身体成为可能。

布鲁克斯博士注意到，从某种意义上说，这个过程已经开始。今天，大约有2万人接受了耳蜗移植，从而得到听觉能力。声音信号由微小的接收器接收，然后将声波转化为电信号，直接传入耳朵中的听觉神经。

同样，在南加利福尼亚大学和其他地方可以对盲人进行人工视网膜移植。一种方法是将微小的摄录机装入镜片中，把图像转化为数字信号，用无线的方式传入置于视网膜上的芯片中。芯片激活视网膜神经，把信息通过光学神经传到大脑的枕叶部分。这样，完全失明的人就可以看到所熟悉物体的大致图像。另外一种设计是把光敏感芯片装在视网膜上，然后把信号直接传到视觉神经。这个设计不需要外部摄录机。

这意味着我们甚至可以更进一步：增强日常的感觉和能力。通过耳蜗移植，我们可以听到之前从未听到的高频声音。我们已经可以用红外眼镜看到黑暗中的物体发出的特定类型的光，这些光在正常情况下，人眼是看不到的。人工视网膜还会增强我们的视觉能力，使我们看到紫外线或红外线。（例如，蜜蜂可以看到紫外线，因为它们要锁定太阳的位置才能飞到花床上。）

一些科学家甚至梦想有一天我们的外骨骼拥有动漫书中的超级能力：超强的力量、超强的感官以及超强的能力。我们会变成像钢铁侠一样的半机器人：正常人拥有超人能力和力量。这意味着我们也许不必担心智能发达的机器人接管世界。我们会与它们融合。

当然，这些都是遥远的未来。但一些为机器人没有走出工厂，没有走进我们的生活而沮丧的科学家指出，既然大自然已经创造出人类大脑，为什么不对它进行复制呢？他们的策略是把大脑分解，一个神经元一个神经元地厘清，然后重新组合起来。

但反向工程不仅仅是制作一张活的大脑的制造蓝图。如果我们能复制大脑中的每一个神经元，我们也许就可以把自己的意识上传到计算机中。这样，我们就可以摆脱终将死去的肉体。这已经不再是基于物质的心灵，而是无需物质基础的心灵了。

11　对大脑进行反向工程

我跟所有人一样喜爱自己的身体，但如果硅质躯体

能让我活200岁的话，我会换成这样一个身体。

——丹尼尔·希尔（**Daniel Hill**），

思考机器公司联合创始人

2013年1月，永远改变医学和科学前景的两颗炸弹爆炸了。一夜间，曾经被认为太过复杂而无法解决的大脑反向工程突然成为世界上最大经济体之间的科学竞赛和荣耀的一个焦点。

首先，在国情咨文中，美国总统巴拉克·奥巴马宣布向“推进创新型神经技术开展大脑研究计划”（BRAIN，简称“大脑研究计划”）提供联邦研究资金，总共大约30亿美元，这震惊了科学界。与打开基因研究闸门的“人类基因组计划”一样，BRAIN将通过绘制大脑中的电通路，揭开大脑神经层面的秘密。一旦得到大脑的图谱，很多棘手的疾病，如阿尔茨海默氏症、帕金森氏症、精神分裂症、痴呆症和躁郁症，就可能得到认知，进而可能治愈。这个计划在2014年可能得到1亿美元的启动资金。

几乎与此同时，欧盟宣布“人类大脑工程”（HBP）将得到11.9亿欧元资金（大约16亿美元），以对大脑进行电脑模拟。该工程使用世界上最大的超级计算机，将用晶体管和钢铁创建复制人类大脑。

这两个项目的支持者都强调这些努力会带来巨大的效益。奥巴马总统毫不迟疑地指出，BRAIN（大脑研究计划）不仅会减轻美国上百万人的痛苦，还将会带来新的收入来源。他宣称，人类基因组计划中投入的每1美元都带来了大约140美元的经济收入。事实上，人类基因组计划催生了好几个完整的新兴产业。对于纳税人来说，BRAIN会像人类基因组计划一样是一种双赢局面。

虽然奥巴马的讲话中没有提及细节，但科学家们很快做出了补充。神经学家指出，一方面我们现在能够使用精密的仪器监测单个神经元的电活动，另一方面利用磁共振成像（MRI）机也可以监测整个大脑的活动。他们指出，所缺失的是中间地带，而大多数有意义的大脑活动都集中在这个地方。这个中间地带的通路中包含着数千个至数百万个的神经元，我们对精神疾病和行为的认识空白正源自这里。

为了解决这个巨大的问题，科学家规划了一个15年的尝试性计划。在前5年中，神经学家希望监测上万个神经元的电活动。短期目标可能

包括重新建构动物大脑中某些重要部分的电活动，例如果蝇的髓质或老鼠的视网膜（其中包含5万个神经元）的神经节细胞。

在10年的时间里，这个数字将增加到几十万个神经元。可能包括对果蝇的整个大脑进行成像（有13.5万个神经元），或者，甚至是对目前已知的最小哺乳动物伊特鲁里亚鼩鼱（Etruscan shrew。仅**3.5**厘米长，**2**克重）的大脑皮层进行成像，它有100万个神经元。

最后，在15年的时间里，我们可能监测几百万个神经元的活动，相当于一条斑马鱼的整个大脑或一只老鼠的整个新皮层。这将为对灵长类动物大脑的某些部分进行成像铺平道路。

同时，在欧洲，人类大脑工程将从另外一个角度解决问题。这个项目会用10年的时间，利用超级计算机模拟不同动物大脑的基本工作原理，从老鼠开始，最后是人类。人类大脑工程并不针对单个神经元，它利用晶体管模拟神经元的行为，所以将会制造出能够模拟新皮层、丘脑或大脑其他部分的计算机模块。

最后，这两个庞大的计划之间的竞争会引出不治之症在治疗方面的新发现，从而产生意想不到的效益，催生新的产业。但这里还有另外一个并没有言明的目标。如果我们最终能够模拟人类大脑，这是否就意味着大脑可以永生？这是否意味着意识能够存在于身体之外？这些野心勃勃的计划引出了一些最棘手的神学和形而上学的问题。

建造一个大脑

与许多孩子一样，我也喜欢拆钟表，一个螺丝一个螺丝地卸开，然后看看这个东西是怎样合在一起的。我会在脑子里跟踪每个零件，看看一个齿轮与另一个齿轮怎样连接，直到整个钟表拼装在一起。我发现主发条转动主齿轮，然后传到一连串小齿轮上，最后转动表针。

今天在更大的尺度上，计算机科学家和神经学家试图拆解一个极为复杂的物体，这也是宇宙中我们所知的最为复杂的物体——人类大脑。而且，他们还希望能够一个神经元一个神经元地重新组装人的大脑。

由于自动化技术、机器人科学、纳米技术和神经科学的快速发展，人类大脑的反向工程已经不是人们茶余饭后的虚无猜想。在美国和欧洲，有几十亿美元将很快投入到那些曾经被认为是荒谬的项目中。今天，一小部分有远见的科学家正将其毕生精力投入到一个他们可能看不到完成之日的项目中。明天，他们的行列会扩大为一个庞大的队伍，他们会得到美国和欧洲国家的慷慨资助。

如果获得成功，这些科学家将改变人类的历史进程。他们不仅会找到治疗精神疾病的新药和疗法，还可能解开人类意识的奥秘，也许可能将意识上传到计算机。

这是一项令人敬畏的工作。人类大脑包含1 000亿个神经元，接近银河系中恒星的总数。每个神经元又与上万个神经元相连接，所有可能的连接加起来达到1亿亿个（这还没有开始计算神经元网络中的通路个数）。因此，人的大脑能够产生的“思维”数量完全是天文级别的，超出了人类的认识范围。

然而，这并没有让一小部分富有激情的、专注的科学家退缩，他们试图从零开始重构人类大脑。有一句中国谚语说：“千里之行始于足下。”这个重要的第一步事实上已经迈出了，科学家们已经对线虫神经系统中的神经元逐个进行了解码。这个被称为“秀丽线虫”的微小生物拥有302个神经元，7 000个突触，这些都得到了精确的记录。完整的线虫神经系统图谱可以从互联网上找到。（直到今天，线虫还是整个神经结构得到这样解码的唯一活性生物体。）

最初，人们认为对这种简单生物体的完整反向工程可以打开通向人类大脑的大门。但具有讽刺性的是，情况恰恰与此相反。虽然线虫的神经元在数量上是有限的，但由它们组成的网络仍然十分复杂和精密，甚至认识线虫行为的简单事实（例如，哪些通路与哪些行为有关）都花去了几年时间。如果低等的线虫都难于得到科学理解，那么科学家就要被迫重新认识人类大脑所具有的复杂性。

大脑研究的三种方法

由于大脑如此复杂，对大脑逐个神经元地进行分解至少有三种不同的方法。第一种是利用超级计算机对大脑进行电子模拟，这是欧洲人采用的方法。第二种是绘制活性大脑的神经通路，这是“大脑研究计划”（BRAIN）所使用的方法。（这项任务还可以继续细分，这取决于怎样分析这些神经元：对每个神经元进行解剖分析，或者按功能和活动进行分析。）第三种是我们可以对控制大脑进化的基因进行解码，这是微软的亿万富翁保罗·艾伦（Paul Allen）所开创的方法。

第一种方法利用晶体管和计算机模拟大脑，这种方法正在向前推进，他们按照某种顺序对动物的大脑进行反向工程：首先是小白鼠，然后是老鼠、兔子和猫。欧洲的项目基本按照进化的历程进行，从简单的大脑开始，然后增加复杂性。对于计算机科学家而言，这种办法就是解决原始计算能力问题：越强大越好。而且这意味着要使用世界上最大的计算机对老鼠和人的大脑进行解码。

他们的第一个目标是小白鼠的大脑，它的尺寸是人类大脑的千分之一，包含大约1亿个神经元。IBM的蓝色基因计算机正在分析小白鼠大脑的思维过程，这台计算机坐落在加州的劳伦斯利弗莫尔国家实验室，世界上最大型的计算机中有很多台都安放在那里。这些计算机被用来为五角大楼设计氢弹头。这个由晶体管、芯片和线路构成的庞然大物拥有147 456个处理器和令人惊愕的150 000 GB存储空间。（普通的个人电

脑只有一个处理器，几个GB的存储空间。）

这里的进展虽然缓慢，但一直稳定向前推进。科学家首先试图复制大脑皮层与丘脑之间的连接，而不是模拟整个大脑，这个连接是大脑活动集中的地方。（也就是说，这个模拟中并不包含与外部世界的感觉连接。）

2006年，IBM的达尔曼德拉·莫德哈（Dharmendra Modha）博士采用这种方法用512个处理器部分地模拟了小白鼠的大脑。2007年，他的团队用2 048个处理器模拟了老鼠的大脑。2009年，拥有16亿个神经元和9万亿个连接的猫的大脑得到模拟，所用处理器为24 576个。

今天，穷尽蓝色基因计算机的所有能力，IBM的科学家仅模拟了人类大脑神经元和突触的4.5%。要开始对人类大脑进行部分模拟，我们需要88万个处理器，这可能在2020年左右实现。

我曾有机会拍摄蓝色基因计算机。要进入这个实验室，我必须通过层层安检，因为它是美国最先进武器的实验室，通过所有检查点之后，就来到一间巨大的装有空调设备的房间，这里安放着蓝色基因计算机。

这台计算机真是一件宏伟的硬件，有一架一架的黑色大柜，布满开关和闪烁的信号灯，每个大约8英尺（**2.44**米）高，15英尺（**4.57**米）长。当我走过这些组成蓝色基因的大柜时，我想知道它正在执行什么任务。很可能，它正在模拟质子的内部结构，计算钚触发器的衰变时间，模拟两个黑洞的碰撞，以及像一只小白鼠一样进行思考，这些都在同时进行。

后来我得知，即便是如此先进的超级计算机也即将让位于下一代蓝色基因/Q红杉计算机，它的计算能力达到了新高度。2012年6月，这台计算机成为世界上最快的超级计算机。它运算的峰值速度可以达到20.1 PFLOPS（每秒20.1千万亿次浮点运算）。它占地3 000平方英尺（**280**平方米），消耗电能7.9兆瓦，这够点亮一座小型城市了。

但一台有如此强大运算能力的计算机足够与人类大脑匹敌吗？

不幸的是，还不能。

这些计算机试图模拟的仅仅是大脑皮层与丘脑之间的交互作用。大脑中的大部分都没有包含在内。莫德哈博士很清楚这项工程的艰巨性。这项野心勃勃的研究使他能够估算建造整个人类大脑的模型将需要多大的运算能力，这包含新皮层的所有部分以及与感官的连接，并非只是大脑的一部分或一个模糊的模型。在他的设想中，这需要上千台蓝色基因计算机，而非一台，这将占据一个街区的面积，而不是一间约300平方米的房间。能量的消耗会十分巨大，需要发电能力上千兆瓦的核电站提供所需的电量。然后，为了防止这台怪物式的计算机自身熔化，还要使它冷却，这也许要引入一条小河流，让它从计算机的电路中流过。

需要一台庞大到像一座城市一样的计算机来模拟人类头颅里只有3磅（1 360克）重的一个组织，这真是令人震惊的事情，而大脑的工作仅仅将人体温度提高了1～3摄氏度，使用的功率仅有20瓦，而且只需要几个汉堡包就能维持运转。

建造一个大脑

也许参与这个项目的最具抱负的科学家当属瑞士洛桑联邦理工学院的亨利·马克拉姆（Henry Markram）博士。他是人类大脑工程（HBP）背后的主要推动者，这项工程获得了欧盟10多亿美元的资助。过去的17年里，他一直试图解开大脑的神经布线。他也使用蓝色基因计算机对大脑进行反向工程。目前，他的人类大脑工程已经花费了欧盟1.4亿美元，这仅是未来10年所需的计算能力的一小部分。

马克拉姆博士相信，这已经不仅是一个科学项目，而是一个工程，需要大量的资金。他说："要建造这个东西——超级计算机、软件和研究——我们需要大约10亿美元。如果考虑到大脑疾病所造成的经济负担将很快超过全世界生产总值的20%，这就不昂贵了。"对于他来说，10亿美元不是问题，相比于当婴儿潮一代人退休后患上老年痴呆症、帕金森氏症和其他相关疾病所产生的几千亿美元的医疗账单，这是个小数目。

所以，对于马克拉姆博士来说，解决方法仅仅是规模问题。向这个工程投入足够的钱，人类大脑就会呈现出来。现在他从欧盟获得了梦寐以求的10多亿美元资助，他的梦想可能成为现实。

对于每个纳税人将从这10多亿美元的投资中获得什么的问题，他有所准备。他说，开始这项孤独且昂贵的探索有三个原因："第一，如果我们希望在社会中融洽相处，那么了解人类大脑就必不可少，而且我认为这是进化中的关键一步。第二个原因是，我们不能永远只做动物实验……这就像诺亚方舟，像一个档案馆。第三个原因是，这个星球上有20亿人正在遭受精神疾病的痛苦……"

在他看来，我们对精神疾病知之甚少简直是一种耻辱，这些疾病让上百万人遭受痛苦。他说："今天没有一种神经方面的疾病，我们知道是大脑线路里什么出现了问题——哪条通路，哪个突触，哪个神经元，哪个受体。这让人吃惊。"

起初，要完成这项计划听起来完全不可能，我们有那么多的神经元，那么多的连接。这好像是徒劳的工作。但这些科学家认为他们拥有王牌。

人类基因组包含大约23 000个基因，但它们用某种未知的方法创建了包含1 000亿个神经元的大脑。由人类基因建构成人类大脑在数学上看起来似乎不可能，不过胚胎每孕育一次，这样的事情就确实地发生一回。这么多的信息是怎样挤进这么小的东西中呢？

马克拉姆博士的答案是，大自然使用了捷径。这个方法的关键是，一旦大自然找到了一个好的神经元模板，这些模块将被不断重复使用。如果你观察大脑的显微切片，你最初只会看到神经元随机地交织在一起。但仔细观察后，你会发现有些形状会不断重复。

（事实上，模块是我们能够如此快速地建造摩天大楼的原因之一。设计出单个模块之后，就能在装配线上不停地复制。然后可以很快地一层一层把模块叠加起来，建造出摩天大楼。一旦所有文件签署完毕，用这种模块方式建造一所公寓楼，几个月就能完工。）

马克拉姆博士的“蓝脑计划”（Blue Brain project）的关键是“新皮层单元”这种在大脑中不断重复的模块。对于人类而言，每个这样的单元（模块）大约2毫米高，直径为0.5毫米，包含6万个神经元。（相比而言，老鼠的每个神经模块只包含1万个神经元。）马克拉姆博士从1995—2005年用了10年时间绘制了每个单元中的神经元，并分析出单元的工作机制。解决这些问题后，他去了IBM，制造了大量的这些单元的迭代体（iterations）。

他是永远的乐观主义者。2009年，他在TED（技术、设计、娱乐）大会上宣称能够在10年内完成该计划。（很可能所带来的只是人类大脑的简化模型，不包括与其他脑叶或感官的任何连接。）但他说：“如果我们的建构方法正确，它将能够开口说话，并且拥有智能，它的行为会与人类非常接近。”

马克拉姆博士非常善于为自己的工作辩护。他对所有问题都有现成答案。当批评者说他正踏入禁区时，他会反击道：“作为科学家，我们不应该畏惧真理。我们需要认识自己的大脑。很自然，人们认为大脑是神圣的，认为我们不应该摆弄它，因为那里可能隐藏着关于我们灵魂的秘密。但坦白地讲，我认为，如果这个星球能够认识大脑的工作方式，我们将解决所有地方的冲突。因为人们会明白这些冲突、反应和误解是多么微不足道，以及如何控制冲突和消除误解。”

当他面对“你是在扮演上帝”这种极端指责时，他说：“我觉得我们离扮演上帝还很远。上帝创造了整个宇宙。我们仅仅是在尝试制造一个小模型。”

这真是一个大脑吗？

虽然这些科学家宣称他们对大脑的计算机模拟将在2020年开始接近人类大脑的能力，但这个问题仍然存在：这个模拟有多真实？譬如，猫的大脑模拟能够抓到老鼠吗？或者它能与一个毛线球玩耍吗？

答案是：不能。这些计算机模拟只是试图把握猫的大脑中神经元激活的纯粹能量，并不能复制大脑各区域整合在一起的方式。IBM的模拟只针对丘脑皮层系统（即连接丘脑和皮层的通道）。这个系统不包括肢

体，因此不涉及大脑与环境的复杂互动。这个大脑中没有顶叶，所以没有与外部世界的感觉或运动连接。即便在丘脑皮层系统中，其基本的架构也与猫的思维过程相去甚远。其中没有用于跟踪猎物或寻找配偶的反馈回路和记忆通路。计算机化的猫的大脑是一块空白的石板，没有任何记忆，没有本能的欲望。换言之，它不可能抓到老鼠。

所以，即使到2020年前后，人类大脑能被模拟出来，你也不能与它进行简单对话。没有顶叶，它就像没有感觉的空白石板，没有关于自己、关于他人和周围世界的知识。没有颞叶，它就不能说话。没有边缘系统，它就不会有任何情感。事实上，它的大脑能力比刚刚出生的婴儿还要弱。

把大脑与感觉、情感、语言和文化的世界相联系的挑战才刚刚开始。

切片与切块的方法

下一种方法是直接对大脑神经元进行绘图，这得到了奥巴马政府的偏爱。这种方法分析大脑中的实际神经通路，而不是利用晶体管进行模拟，它包含几个组成部分。

进行研究的一种方法是在物理上识别出大脑中的每一个神经元和每一个突触。（神经元通常会在这个过程中被破坏。）这被称作解剖法。另外一条路径是当大脑发挥某些功能时，解码神经元之间电信号的流动方式。（这种方法强调识别活性大脑的神经通路，似乎得到奥巴马政府的青睐。）

解剖法使用“切片与切块”（slice-and-dice）的方法，逐个神经元地拆解动物大脑的细胞。这样，环境、身体以及记忆的复杂性都已经包含于这个模型之中。这些科学家期望能够识别出大脑中的每一个神经元，而不是通过组装无数个晶体管来近似模拟人类大脑。之后，每个神经元也许可以用晶体管来模拟，这样我们就得到了人类大脑的精确复制品，其中包含记忆、人格以及与感官的连接。一旦这种大脑反向工程获得成功，你应该可以与这个拥有记忆和人格的人进行有意义的对话。

完成这个项目并不需要新的物理学理论。霍华休斯医学研究中心的格里·鲁宾（Gerry　Rubin）博士用一种类似于熟食店里切肉刀的工具切开了一只果蝇的大脑。这不是一项简单的工作，因为果蝇的大脑只有300微米宽，与人类大脑比起来就像一粒微尘。果蝇大脑包含大约15万个神经元。每一个切片仅有一亿分之五米（**0.05**微米）宽，都是用电子显微镜仔细摄录，然后输入电脑，通过电脑程序逐个神经元地重构果蝇大脑。按照目前的速度，鲁宾博士需要20年才能识别果蝇大脑的所有神经元。

这种蜗牛般缓慢的速度可部分归咎于目前的摄像技术，因为一个标

准的扫描显微镜的速度大约为每秒1 000万个像素。（这约为普通电视机屏幕解析度的三分之一。）下一步的目标是制造出每秒处理100亿个像素的成像机器，这将会是世界纪录。

怎样储存由显微镜得出的数据也是一个棘手的问题。一旦这项工程开足马力，鲁宾预计，就一只果蝇而言，每天将会扫描上百万GB的数据，所以应该会有一个装满硬盘的巨大仓库。此外，由于每只果蝇的大脑都有细微差别，他要扫描上百个果蝇大脑以得到最为准确的近似值。

在果蝇大脑研究的基础上，我们最终拿人类大脑切片需要多长时间呢？“100年之后，我期望认识人类意识是怎样工作的。10年或20年的目标是认识果蝇的大脑，”他说。

有几种技术的进步能够推进这种方法。一种可能性是使用自治设备，由机器来完成大脑的切片、扫描和分析每个切片的枯燥工作。这可以大大减少该项目所需要的时间。例如，自动化大大降低了人类基因组计划的成本（虽然预算为30亿美元，最后这个项目提前完成，而且低于预算，这在华盛顿是前所未有的）。另一种方法是使用各种染料标记不同神经元和通路，使它们易于观察。还有一种方法是建造自治化的超级显微镜，能够逐个地扫描神经元，保留下清晰的细节。

由于对大脑和其所有感官的完整绘制图需要近百年的时间，这些科学家就像设计欧洲教堂的中世纪建筑师一样，他们知道自己的子孙终将完成这个工程。

除了逐个神经元地绘制大脑的解剖图外，还有一个同时进行的项目，叫做“人脑连接组计划”，它利用大脑扫描数据重构连接人类大脑各个区域的通路。

人脑连接组计划

2010年，美国国立卫生研究院宣布，分5年向一个大学联盟（包括华盛顿大学圣路易斯分校和明尼苏达大学）投资3 000万美元，分3年向另一个由哈佛大学、马萨诸塞州综合医院和加州大学洛杉矶分校领衔的大学联盟提供850万美元的资助。当然，这种水平的短期资助不足以使科学家们为整个大脑排序，这些资金主要是启动这个项目。

很可能这个项目最后会并入“大脑研究计划”（BRAIN），这会大大推进研究进度。项目的目标是绘制人类大脑的某些神经通路的构造图，以说明孤独症和精神分裂症等大脑症状。联接组计划的牵头人之一是塞巴斯蒂安·承（Sebastian Seung，承现峻）博士，他说：“研究人员猜测这种患者的神经元本身是完好的，只是它们之间的连接出现异常。不过，我们目前还没有检验这个假说的技术。”如果这些疾病真是由大脑错误的连接构成，那么人脑连接组计划就可能为我们提供治愈这些症状的宝贵线索。

但当思考对整个人类大脑成像的最终目标时，承博士有时会对完成这个计划没有信心。他说："在17世纪时，数学家和哲学家布莱士·帕斯卡（Blaise　Pascal）曾写下自己对无限的畏惧，写下自己思考广袤的外部空间时的渺小感。而作为一个科学家，我不应该谈论我的感情……我感到好奇，我感到惊讶，但有时我也会感到绝望。"不过他以及像他一样的人还在坚持着，即使他们的工作需要几代人来完成。他们有理由充满希望，因为有一天自治显微镜会不知疲倦地摄像，人工智能机器会一天24小时不停地分析这些相片。但现在，普通电子显微镜对人类大脑的成像要消耗1　ZB（10万亿亿字节）数据，相当于今天全世界网络上所汇集的数据的总和。

承博士甚至邀请公众通过访问名为"艾维尔"（EyeWire）的网站来参与这项伟大的计划。在那里，普通的"公民科学家"可以看到大量神经通路，然后给它们填色（在各自通道的范围内）。这就像一个虚拟的彩色图画本，画面是由电子显微镜拍下的眼睛视网膜上的神经元。

艾伦大脑图谱

最后，绘制大脑图像还有第三种方法。除了利用计算机模拟分析或识别所有神经通路外，来自微软的亿万富翁保罗·艾伦提供了1亿美元的慷慨资助，采取另外一种方法进行研究。研究的目标是绘制小白鼠大脑的图像或图谱，重点是识别那些负责形成大脑的基因。

人们希望，对这些基因在大脑中表现的认识有助于理解孤独症、帕金森氏症、老年痴呆症和其他精神症状。由于小白鼠基因中有很多也出现在人类中，对于小白鼠的研究可能会启发我们对人类大脑的认识。

有了这些资金的突然注入，项目已在2006年完成，结果可以在网络上免费获取。之后不久，名为"艾伦人类大脑图谱"的后续项目发布，希望能够制造出完整的人类大脑3D解剖图和基因图。2011年，艾伦研究所宣布，已经绘制了两个人类大脑的生物化学图谱，找到1　000个解剖部位，包含1亿个数据点，这些数据能够说明基因如何以基本的生物化学形式呈现。这项研究确认，有82%的人类基因在大脑中得到表现。

艾伦研究所的艾伦·琼斯（Allen　Jones）博士说："在此之前，能够达到这种精细程度的人类大脑图谱还不存在。"他补充道，"艾伦人类大脑图谱提供了我们从未见过的有关我们最复杂、最重要的器官的景象。"

反向工程的反对声音

将毕生致力于大脑反向工程的科学家们意识到，他们面前还有几十年的艰苦工作。但他们坚信自己的工作有着实际价值。他们认为，即使是部分成果也会有助于我们揭开在整个人类历史上给人类带来痛苦的精神疾病的奥秘。

然而，怀疑者可能会说，这种艰苦的工作完成后，我们得到的是堆积如山的数据，但却无法知道它们怎么结合在一起。例如，假设一个尼安德特人（穴居人）有一天看到了IBM蓝色基因计算机的整个蓝图，其中包含每一个晶体管的所有细节。这是张巨大的蓝图，所用的图纸会有上千平方英尺（93平方米之上）。这个尼安德特人可能会隐约地感觉到这张蓝图包含着一种超级机器的秘密，但这些技术数据对他来说没有任何意义。

同样，也有这样的担心：花费几十亿美元标定大脑每个神经元的位置后，我们仍无法理解这代表着什么。也许还需要几十年的努力工作，我们才能明白它们是怎样工作的。

例如，人类基因组计划取得了巨大成功，弄清楚了人类基因组中的所有基因序列，但对于那些指望马上得到基因疾病良药的人来说，会感到巨大的失望。人类基因组计划就像一部大词典，其中有23　000个词条，但没有任何解释。这部词典里全是空白的页面，但每一个基因的拼写完全正确。这个计划是一种突破，但同时它只是弄清楚这些基因的功能以及它们之间相互作用的第一步。

同样，仅仅有一张包含大脑中所有神经连接的完整图画，并不意味着我们会明白这些神经元的功能和它们之间的互动。反向工程是比较容易的一部分，之后，困难的部分会开始，即理解这些数据。

未来

先让我们假设这个时刻已经来临。科学家带着吹嘘的口吻庄严地宣布，他们对整个人类大脑的反向工程取得了成功。

然后呢？

一种直接应用是寻找某些精神疾病的来源。人们认为很多精神疾病并非由神经元的大面积损伤造成，而是由简单的错误连接造成的。设想那些由简单突变造成的基因疾病，如亨廷顿氏舞蹈病、泰氏-萨氏病（家族黑蒙性白痴症）或囊肿性纤维化症。在人的30亿个碱基对中，只要一个出错（或重复出现）就会造成肢体不可控制地乱动和颤抖，这是我们在亨廷顿氏舞蹈病中看到的。即使基因组的99.999　999　9%准确，一个微小的缺陷还是会使整个序列失效。这就是为什么基因疗法认为这些单个突变是有可能治愈的基因疾病。

同样，一旦大脑被反向工程后，我们可能进行大脑模拟，故意打断某些连接，观察是否会引起某些疾病。也许只有几个神经元可能对我们的认知造成重要影响。标定这些出现错误激活的神经元可能是大脑反向工程的一项重要工作。

卡普格拉妄想症(Capgras delusion，又称“替身幻觉综合征”)可以作

为一个例证。有这种幻觉的人可以认出自己的妈妈，但同时认为这个人是假冒的。根据V.S.拉玛钱德朗博士的看法，这种罕见的疾病可能是由于大脑中两个部分的错误连接造成的。位于颞叶的梭状回负责识别妈妈的脸，但由杏仁核负责见到妈妈时的情感表现。当这两个中枢的连接断裂时，一个人会正确地识别出妈妈的脸，但由于没有情感回应，他会认为这个人是假冒者。

大脑反向工程的另一个实际用途是精确标定哪些神经元出现错误激活。我们看到，深部大脑刺激术（DBS）会使用微小的探针减弱大脑一小部分的活动，如某些深度抑郁病例中的布洛德曼25区。利用大脑反向工程图，也许可能精确地找到神经元错误激活的部位，这里很可能只包含少数几个神经元。

大脑反向工程对于人工智能也可能有所帮助。大脑可以毫不费力地进行视觉和人脸识别，但最先进的计算机都很难完成这种工作。例如，计算机对数据库中储存的正面人脸的识别精度达到95%，或者说精度很高，但如果人脸的角度发生改变，或者识别的人脸不在数据库中，计算机很可能会识别失败。我们可以在1秒钟之内从不同角度认出我们所熟悉的面孔。这个过程对于大脑来说如此简单，我们甚至都没有意识到我们在识别。大脑反向工程也许可以揭示我们是怎么做到的。

涉及大脑多重故障的疾病，如精神分裂症，可能更复杂些。这个病症涉及多个基因，加之与周围环境的互动，这又造成不同大脑区域的反常活动。但即使是这种情况，大脑反向工程还是可能告诉我们某些症状（如幻觉）到底是如何形成的，为找到可能的药物奠定基础。

大脑反向工程还能解决一些基本的但仍未解决的问题，如记忆能储存多久。我们知道大脑的某些部位储存记忆，如海马体和杏仁核，但记忆是如何分散到不同的皮层，然后又重新组合成记忆的仍不清楚。

一旦用反向工程构建的大脑发挥作用，那么就是打开它的所有通路，检验它是否能像人类一样做出反应（即，看看它能否通过图灵测验）的时候了。由于长期记忆已经在反向工程大脑中得到编码，这个大脑能否像人类一样做出反应应该能够很快体现出来。

最后，大脑反向工程还有一个影响，人们虽然很少讨论，但存在于很多人心中的一个问题是：能否长生不老。如果意识可以转移到计算机中，这是否意味着我们不会死去呢？

12　未来：物质以外的心灵

猜测从不是浪费时间。它把错综复杂推理中的朽木清除。

——伊丽莎白·彼得斯（**Elizabeth Peters**）

我们的文明是科学文明……即知识及其完整性是至关重要的文明。科学一词在拉丁语中就是知识的意思……知识是我们的归宿。

——雅各布·布罗诺夫斯基（**Jacob Bronowski**）

意识能够不受我们肉身的束缚而独自存在吗？我们能够离开终将逝去的躯体，像神灵一样在这被称为宇宙的乐园里游荡吗？《星际迷航》采用了这个主题，“进取号”星舰的柯克（Kirk）船长遇到一个超人种族，比行星联盟领先近100万年。他们已经先进到很早就抛弃了脆弱的、终将死去的躯壳，住在由纯能量构成的脉冲球体中。那些令人心醉的感觉，如呼吸新鲜空气、触摸另一个人的手或者感受肉体的爱，对于他们来说已经是千年之前的事了。他们的领袖萨尔贡（Sargon）欢迎“进取号”到自己的行星来。柯克船长接受了这个邀请，同时非常清楚这个文明能够把“进取号”瞬间汽化，如果它愿意这么做的话。

但船员们并不知道，这些超级生物有一个致命弱点。他们虽然拥有先进的技术，但他们没有肉体，他们从肉体中分离出来已经有几十万年。所以，他们渴望体验肉体感觉的冲击，渴望重新变为人类。

这个超级生物的成员中有一个怀有恶意、企图占有船员的肉体。他想像人类一样生活，即使这意味着将摧毁肉体所有者的心灵。不久，“进取号”的甲板上爆发了战斗，邪恶的超级生物控制了斯波克的身体，船员们开始反击。

科学家们自问道，有没有物理规律禁止心灵在肉体之外存在？具体而言，如果人类有意识的心灵是一件不断创造出世界模型并在未来予以模拟的设备，那么是否有可能制造出一台机器模拟这整个过程？

之前，我们提到把自己的身体置于分离舱中，通过意念控制机器人的可能性，这正是电影《未来战警》（Surrogates）中的情节。这里的问题是：即使我们的机器人替身可以一直存续下去,但我们的自然躯体会逐渐萎缩。严肃的科学家正在思考我们是否真的能把思想转移到机器人中，这样我们就真的能够不朽。谁不希望有机会获得永生呢？正如伍迪·艾伦（Woody　Allen）曾经所言：“我不想通过自己的作品永远活下去。我想要的是永不死去。”

事实上，已经有上千万人宣称，心灵离开身体是可能的。其中很多人坚称他们自己能够做到这一点。

灵魂出窍的体验

心灵不依附肉体而存在的理念也许是最古老的迷信，它深深扎根于神话、民间传说、梦境，甚或我们的基因中。每个社会似乎都有关于鬼怪可以随意进出人的身体的故事。

不幸的是，有很多无辜的人因驱除那些据称缠附在身体上的鬼怪而遭到迫害。他们很可能患有精神疾病，如精神分裂症，患者经常被自己大脑里产生的声音所困扰。历史学家认为，1692年以恶魔附体被处以绞刑的塞勒姆镇的一个女巫可能患有一种叫做“亨廷顿氏舞蹈病”的罕见基因疾病，它使四肢不受控制地挥舞。

今天有些人宣称，他们可以进入一种出神状态（恍惚状态），意识离开身体，自由地在空间中游荡，甚至能够回看自己的肉体。在对13 000个欧洲人的调查中，有5.8%的人声称他们曾经有过灵魂出窍的体验。对美国人的调查也得出相似的数字。

诺贝尔奖得主理查德·费曼（Richard Feynman）总是对新现象充满好奇。有一次，他把自己放到感觉隔离箱内，试图离开自己的肉体。他成功了。他后来写道，他感觉到离开了自己的身体，飘游到空间中，往回看时，看到了自己一动不动的身体。然而，费曼后来总结道，这很可能只是自己的想象，是由感觉隔离造成的。

研究这种现象的神经学家，他们的解释更加乏味。瑞士的奥拉夫·布兰科（Olaf Blanke）博士和他的同事可能已经找到了大脑中生成灵魂出窍体验的部位。他遇到一位43岁的女性病人，她的右颞叶遭受了严重的创伤，医生在她的头部安装了一个大约有100个电极的格栅，以确定创伤的区域。当电极刺激顶叶和颞叶之间的区域时，她立即出现了离开自己身体的感觉。她大声说道：“我从上面看到自己躺在床上，但我只看到自己的腿和下半身。”她觉得自己在离身体6英尺（**1.83**米）高的地方飘浮。

当电极关闭时，这种灵魂出窍的感觉立即消失了。事实上，布兰科博士发现，他可以通过重复刺激这个大脑区域控制灵魂出窍感觉的出现和消失，就像电灯开关一样。我们在第9章讨论过，颞叶癫痫症会引起一种幻觉，病人会认为不幸的遭遇后面有魔鬼在操控，所以鬼怪离开身体这种观念也许是我们神经组成的一部分。（这还可以解释超自然生命的存在。布兰科博士分析了一名患有难治性癫痫的22岁女性，他发现，刺激她的大脑颞顶区域可以使她感到自己背后隐约有一个人存在。她能够清晰地描述出这个人，她甚至感到他在抓自己的手臂。他出现的位置每次都会发生改变，但他总是出现在她的身后。）

我认为，人类意识是不断形成世界模型的过程，为的是在将来予以模拟并达到某个目的。具体而言，大脑从眼睛和内耳接收感觉，构建出我们在空间中所处位置的模型。当眼睛和耳朵传递的信号有冲突时，我们就对自己的位置模糊不清了。通常，我们会恶心、呕吐。例如，很多人在一艘摇摆的船上会出现晕船，因为他们的眼睛盯着舱壁，告诉他们自己是静止的，而内耳却告诉他们身体在摇晃。这种不匹配的信号使他们感到恶心。缓解的方法是向远方看，这样视觉图像就能与内耳信号统一起来。（即使你处在静止中还是可能引起恶心的感觉。如果盯着一只旋转的垃圾桶，上面画上明亮的垂直条纹，竖条在你的眼前水平移过，给你自己在移动的感觉。不过内耳告诉你自己是静止的。这种不匹配会让你过几分钟之后呕吐，即使你坐在椅子上。）

在颞叶和顶叶的连接处施加电流也可以打断眼睛和耳朵传来的信息，这就是灵魂出窍感觉的来源。当这一敏感区域被触碰时，大脑会辨不清自己在空间中的位置。（值得注意的是，短暂性缺血，或血液缺氧，或血液中二氧化碳过量，也会造成颞顶区域信号中断，从而引起灵魂出窍的体验。这可以解释在发生意外事故、紧急事件、心脏病发作等情况时为什么总是会出现这种体验。）

濒死体验

灵魂出窍体验中最具戏剧性的也许要算濒死的独特故事：主人公被宣告死亡，然后神秘地恢复了意识。事实上，心跳骤停的幸存者报告中有6%～12%的人有濒死体验，就好像他们把死神玩弄了一回。在采访中，他们就这种相同的体验讲述了离奇的故事：他们离开了身体，漂移到长长隧道尽头的亮光之下。

媒体抓住了这个话题，推出了数不清的畅销书和电视纪录片来谈论这些具有戏剧效果的故事。对于濒死体验涌现了很多奇怪的理论来解释。在一个对2 000人的调查中，足足有42%的人认为濒死体验是一种超越死亡的与死后的精神世界联系的证据。（一些人相信，身体在死亡之前会释放出内啡肽，这是一种自然麻醉剂。这或许可以解释人们感到的精神欢快，但无法解释隧道和亮光。）卡尔·萨根甚至猜测，濒死体验是重温出生时的创伤。这些人都讲述了非常相似的体验事实，但这不一定证明他们瞥见进入来世。事实上，这似乎表明发生了某种深层次的神经事件。

神经学家严肃地研究了这种现象，猜测它的关键可能在于大脑供血下降，通常这总是伴随着濒死案例，也出现在昏厥的情况中。柏林城堡公园诊所的神经学家托马斯·兰珀特（Thomas Lempert）博士对42个健康个体进行了一系列实验，让他们在有控制的实验环境下昏厥，有60%的人产生了视觉上的幻觉（例如，亮光和彩色条块），47%的人感觉自己进入了另外一个世界，20%的人声称遇到了一个超自然生命，17%的人看到一束亮光，8%的人看到一条隧道。也就是说昏厥可以模拟所有的

濒死体验。但这一切是怎么发生的呢？

通过分析军机飞行员的经验也许可以解释昏厥与濒死体验相似性的秘密。例如，美国空军邀请了神经生理学家爱德华·兰伯特（Edward Lambert）博士来分析飞行员在经历高g值推力下会失去知觉的原因（比如，当喷气式飞机做出紧急转弯动作或急速拉升时）。兰伯特博士把飞行员们放进明尼苏达州罗切斯特市梅约诊所的一台超高速离心机中高速旋转，直到他们体验到很高g值的推力。随着血液从大脑中流失，当加速度到达几个g后15秒钟，飞行员就失去了知觉。

他发现，只要5秒钟，飞行员的眼部供血就开始降低，边缘视觉开始模糊，形成长长的隧道的图像。这可以解释有濒死体验的人经常看到隧道的现象。如果失去边缘视觉，你看到的所有东西都会是面前的一条狭长隧道。因为兰伯特博士可以用按钮精细地控制离心机的转速，他发现可以将飞行员无限期地保持在此状态下，这样他就能证明这种隧道视觉是由眼部边缘失血造成的。

意识能离开身体吗？

一些研究濒死体验和灵魂出窍体验的科学家相信，这些都是大脑在压力环境下神经连接发生混乱时产生的副作用。不过也有科学家认为，几十年后当我们的科技足够先进时，有一天人类意识可以真的离开身体。对此，他们提出几种富有争议的方法。

未来学家和发明家雷·库兹韦尔（Ray Kurzweil）博士提出了一种方法。他相信未来有一天，意识可以上传到一台超级计算机上。我们两人曾在一个会议上见过面，他告诉我，他对于电脑和人工智能的迷恋从5岁就开始了，那时候父母给他买了各种各样的机械小玩意和玩具。他很喜欢这些东西，甚至从那时起就知道自己未来会成为一个发明家。他在马文·明斯基博士的指导下获得麻省理工学院博士学位，马文·明斯基是人工智能的奠基人之一。之后，他在利用图形识别技术制造乐器和文本朗读机方面获得了成功。他还用这些领域的人工智能研究成果创办了几家公司。（他在20岁时就卖掉了自己的第一家公司。）他的光学阅读器可以识别文本并转化为声音，可以为盲人提供帮助，后来沃尔特·克朗凯特（Walter Cronkite）在晚间新闻上也提到了这个机器。

他告诉我，要成为一个成功的发明家，你必须走在时代的前面，要能够预见将来的变化并对此做出反应。事实上，库兹韦尔博士非常喜欢预测，他的预测中有很多都反映了数字技术显著的指数式增长。他做出了下面的预测：

· 到2019年，价值1 000美元的个人电脑将拥有像人类大脑一样的计算能力——每秒计算2亿亿次。（这个数字的计算方法是：大脑中有1

000亿个神经元，每个神经元有1　　000个连接，每秒每个连接计算200次。）

· 到2029年，价值1 000美元的个人电脑所拥有的计算能力将会超过人类大脑的1 000倍。人类大脑反向工程取得成功。

· 到2055年，价值1 000美元所能带来的计算能力将等同于地球上所有人的大脑处理能力的总和。（他谦虚地补充道："我的预测可能有一两年的误差。"）

2045年对于库兹韦尔博士来说特别重要，因为他相信那一年"奇点"（singularity）会出现。他宣称，到那时候，机器将超过人类的智能，甚至机器会制造出比它们自己更为智能的下一代机器人。由于这个过程可以无限地发展下去，根据库兹韦尔博士的看法，这就意味着机器的能力会不断地加速发展。在这种情况下，我们要么与自己的创造物融合在一起，要么就给它们让路。（即使这些时间节点都在遥远的将来，但他告诉我，他想活到那一天，亲眼看到人类最终达到不朽的状态。也就是说，他想活得足够长，这样他就能永不死亡了。）

我们从摩尔定律中得知，在某个时刻，计算机的能力不可能继续通过制造出越来越小的晶体管而继续发展。在库兹韦尔看来，继续提高计算能力的唯一方法是提升整体尺寸，这样，机器人会因需要更强大的计算能力而消耗掉地球的所有矿藏。一旦这个星球变成一台庞大的计算机，机器人就不得不搬入外太空，寻找其他计算能力的来源。最终，它们也许会吞噬掉所有星球的能量。

我曾经问他计算机的这种宇宙式的发展会不会改变宇宙本身。是的，他回答道。他告诉我，他有时仰望夜空，思考是不是某个遥远的星球上已经有智慧生物到达了这个奇点。如果这真的发生了，那么他们应该会在星星上留下肉眼能够看到的印记。

他告诉我，光速是一个极限。除非这些机器打破光速屏障，不然这种指数级别的增长终将碰到天花板。到那时，库兹韦尔说，它们将改变物理规律本身。

任何做出如此精确与如此庞大的预测的人都会自然而然地遭到雷击般的批评，但这点似乎并没有困扰他。人们可以挑剔他的某个预测，因为库兹韦尔的某些时间节点并没有应验，但他更关心自己关于技术呈指数级增长的想法。说句公道话，我采访的人工智能领域内的多数从业人员都同意某种形式的奇点将会出现，但他们对于奇点什么时候会发生，它将如何展开，却有着截然不同的看法。例如，微软的联合创始人比尔·盖茨（Bill Gates）认为，今天活着的人中没有一个能看到计算机达到人类智能的那一天。《连线》杂志的编辑凯文·凯利（Kevin Kelly）曾经说过："预测乌托邦式未来的人总是会预测这一天将在他们死去之前到

来。”

事实上，库兹韦尔的众多目标之一是使自己去世的父亲复活。或者，他希望制造一个真实的复制品。达到这个目标有几种可能性，但它们更多是猜测。

库兹韦尔提出，也许可以（从他父亲的墓冢、亲戚或其留下的活性物中）提取父亲的DNA。在大约25 000个基因中包含着能够重建这个个体的完整蓝图。这样，就能从DNA中制造出克隆人。

这当然是一种可能性。我曾经问过先进细胞技术公司的罗伯特·兰扎（Robert Lanza）博士，有什么办法能使一个已经死去很久的人“重生”，从而创造历史。他告诉我，圣迭戈动物园要他克隆爪哇野牛，这是一种大约在25年前就灭绝了的像牛一样的动物。困难在于提取可以用于克隆的有用细胞。不过他成功了，他把细胞快递到一个农场，把它植入到母牛体内，然后母牛生育出这种动物。虽然还没有灵长类动物被克隆出来，更不要说人类，但兰扎认为这只是技术问题，克隆人仅仅是时间问题。

尽管这些是容易的部分。克隆体与其原体在基因上完全相同，但没有原体的记忆。也许可以用我们在第5章中描述的方法把人工记忆上传到克隆体的大脑中，比如在海马体中插入探针，或者制造出人工海马体。但库兹韦尔的父亲已经去世很多年，无法记录下他的记忆。能做到的只能是集合关于这个人的零星历史数据，比如通过采访那些有着相关记忆的人得到这些数据，或者通过调取他们的信用卡交易账单获取数据等等方法，然后将这些数据输入到程序中。

恢复一个人的性格或记忆的更为实际的一个方法是建立包含这个人习惯和生活的所有信息的庞大数据文档。例如，现在我们可以把自己的所有电子邮件、信用卡交易、记录、计划、电子日记和生平储存在一个文档中，这些可以相当准确地反应一个人的特征。这个文件就代表了一个人的完整的“数字签名”，是所有关于他的事的集合。这个文件十分准确，十分细微，包括他喜欢喝什么葡萄酒，假期如何度过，用什么样的肥皂，最喜欢的歌手是谁等等。

同样，用一份调查问卷，我们也可能重建库兹韦尔父亲的性格。这份问卷包括关于他性格的几十个问题，例如他是否害羞、好奇、诚实，是否努力工作等，由他的朋友、亲戚和同事作答，然后给每个特征标上一个值（例如，“10”意味着他非常诚实）。这样会得到上百个数字，每个数字代表一个特定性格特征的排序。把这个巨大的数字组汇编之后，计算机程序会利用这些数据得出他在某个假定情况下会做出怎样行为的近似模拟。假设他在演讲时遇到一个恼人的质问者。此时，计算机就会扫描这些数字，然后预测出几种可能的结果（例如，无视这个质问者，对他进行反问，或者跟这个人大吵一架）。换句话说，他的基本性格都转换为一长串数字，每个数字都在1至10之间。计算机通过这些数字预

测他对新情况会做出怎样的反应。

结果是，我们得到一个巨大的计算机程序，能够大致地像原体的那个人一样对新情况做出反应，使用相同的语言表达，具有同样的癖好，这一切都夹杂着那个人的记忆。

另外一种可能性是，我们不必进行克隆，而是制造出与原体个体相仿的机器人。然后把这个程序移植到这个长相相同的机械设备中，它能用与你一样的口音和方式说话，手臂和肢体移动的方式也与你没什么两样。而且，它还能轻易地学会你最喜欢用的表达方式（比如，“你知道……”）。

当然，今天我们很容易就能认出这个机器人是假的。然而，再过几十年，机器人会越来越像它模拟的原体个体，所以它有可能骗过某些人。

但是，这引起一个哲学问题。这个“人”与原来那个人是同一个吗？原体仍然是死亡状态，所以严格说来，克隆人或机器人只是一个冒牌货。例如，一台录音机可以完全忠实地再现我们的对话，但这台录音机并不是原始的对话。那么，克隆人或行为完全与原体相似的机器人是合法的替身吗？

永生

这些方法都遭到了批评，因为这个过程并没有真正地输入原体的真实性格和记忆。将一个心灵移植到一台机器中，一个更为忠实的方法是通过人脑连接组计划。我们在上一章讨论过，这个计划要逐个神经元地复制大脑的所有细胞通道。人的所有记忆和性格特点都已经存在于这个人脑连接组中了。

参与人脑连接组计划的塞巴斯蒂安·承博士提到，有人出10万美元或更多的钱把自己的大脑冷藏在液氮中。在冬天冻结在冰块中的某些动物，如鱼和青蛙，在春天冰块融化后仍完全健康。这是因为它们可以把葡萄糖作为一种防冻剂改变血液中水的冰点。因此，即使它们被冰封在冰块中，它们的血液也是液态。但人体内葡萄糖的浓度如果达到这种水平就可能会致命，所以用液氮冷藏大脑是一种不太可靠的方法，因为冰晶的膨胀会从内部刺破细胞壁。（同时，随着大脑细胞的死亡，钙离子会涌入，使大脑细胞最终膨胀破裂。）无论哪种情况，人的大脑细胞很可能无法在冷冻过程中存活。

冷藏身体会使细胞破裂，而获得永生更为可靠的方法是完成你自己的脑连接组。在这种设定下，你的医生会把你的所有神经连接储存在硬盘中。从根本上说，你的灵魂现在就在一张光盘上了，完全成了信息。然后在将来某个时刻，其他人就可能使你的脑连接组复活，在理论上，可以使用克隆的方法或者用一套复杂的晶体管使你重生。

正如我们所提到的，人脑连接组计划目前还不能记录一个人的神经连接。但就像承博士所言：“我们是否应该嘲笑这些永生的现代追求者，把他们当作傻瓜？或者是否会有一天他们在我们的坟墓上窃笑呢？”

精神疾病与永生

然而，永生也有自身的缺点。目前所制造的电子大脑只包含皮层和丘脑之间的连接。这种反向工程大脑由于没有身体的支持，可能会出现感觉隔离的现象，甚至会表现出精神疾病的症状，就像一个囚犯被关在隔离室时会出现的情形一样。也许疯狂状态是用反向工程制造永生大脑所付出的代价。

把受试者置于隔离室中，阻断他们与外部世界的所有联系，他们最后会产生幻觉。2008年，英国广播公司电视台播放了一部名为《完全隔离》（Total Isolation）的科学节目。他们记录了6个志愿者的情况，这些人独处于全黑的核弹掩体中，仅仅过了两天，其中3个志愿者就开始出现视觉和听觉上的幻觉，他们看到了蛇、汽车、斑马和牡蛎。他们从掩体出来之后，医生发现所有人都患上了精神错乱症。其中一个受试者的记忆下降了36%。我们可以想象，如果在这种环境中待上几个星期，他们中的多数人都可能会疯掉。

为了使反向工程制造出的大脑保持正常理智，把它连接到传感器上也许是必要的，传感器可以从环境中接收信号，这样大脑就能看到、感觉到外部世界。但又出现另外一个问题：它可能会觉得自己是个怪物，是一个笨拙的科学实验小白鼠，生活在科学实验的恩泽之下。因为这个大脑有着与原体那个人相同的记忆和性格，它将渴望与人类的交往。但它存在于某个超级计算机的内存中，外表是可怕的电极丛，这会使人类感到反感，与它建立联系不太可能。它的朋友都会转身离开。

洞穴人原理

这里，“洞穴人原理”（Caveman Principle，或“穴居人原理”）开始发挥作用。为什么如此之多的合理预测都失败了？为什么会有人不想在计算机中永生呢？

洞穴人原理是指，如果要在高科技和高接触之间做出选择，我们每次都会选择高接触。例如，如果要我们在最喜欢的音乐家的现场表演和他的音乐会唱片之间做出选择，我们会怎么选呢？或者，如果要我们在参观泰姬陵的机票和泰姬陵的美丽风景画之间做出选择，我们会怎么选呢？我们很可能会选择现场表演和飞机票。

这是因为我们继承了猿类祖先的意识。自第一批现代人类出现在非洲后的10万年里，我们基本人格中的某些部分可能没怎么改变。我们意识中的一大部分都在乎外在的美观，试图给异性及同伴留下好的印象。

这已经成为我们大脑架构的一部分。

很有可能在这种基本的猿类意识下，我们与计算机的融合只能是加强我们现在的躯体，而不能完全取代它。

洞穴人原理可以解释为什么有些对未来的预测十分合理，但却没有实现，比如“无纸化办公”。计算机可以在办公室中完全替代纸质文件，但具有讽刺意味的是，计算机事实上制造出了更多纸质文件。这是因为我们是从猎人进化而来的，这些猎人需要“猎物的证据”（即，我们信任具体的证据，而不是那些在计算机屏幕上跳跃的稍纵即逝的电子。你一关上电脑，它们就消失了）。同样，人们用虚拟现实技术参加会议而无须实地参加的“无人城市”也没有实现，交通比以前更糟了。为什么呢？因为我们是社会性动物，我们喜欢与其他人建立情感。视频会议虽然有用，但并不能完全取代身体动作所能传达的全部微妙信息。例如，一个老板可能希望从员工中找出问题，进而希望看到他们在质问之下惴惴不安和汗水流淌的情景。这一切只能在面对面的情况下才能达到。

洞穴人与神经科学

当我还是小孩子的时候，我阅读了艾萨克·阿西莫夫（Isaac Asimov）的《基地三部曲》，这本书深深地影响了我。首先，它让我想起一个简单的问题：5万年后当我们拥有了银河帝国，未来的技术会是什么样子？在阅读这本小说的过程中，还有一个问题一直伴随着我，为什么那时候人的模样和行为会与现在的相同？我当时认为，上万年后人类可能具有了半人半机器化的身体，拥有超人般的能力。也许在这几千年前，人类已经抛弃自己那脆弱的躯体了。

我想出了两个答案。第一，阿西莫夫希望吸引愿意买这本书的年轻读者，所以他塑造的角色需要引起这些人的共鸣，这其中就包括他们所犯下的错误。第二，也许未来人类可以拥有具有超能力的身体，但人们在多数时间会选择正常些的外貌。这有可能是因为自人类第一次走出丛林后，他们的大脑并没有发生改变，同类及异性对他们的认可仍然决定着他们的模样以及他们在生活中要追求的东西。

所以，现在我们把洞穴人原理应用到未来的神经科学中。这至少意味着所有对人类基本形态的改变都不能从外表上显现出来。我们不希望自己长得像科幻电影中的逃难者，丑陋的电极从脑袋上垂下来。可以输入记忆或提升我们智能的大脑植入术可能并不会被接纳，除非纳米技术能够制造出肉眼看不见的微型传感器和探针来。将来也许可以制造出纳米纤维，它的材料也许是只有一个分子厚的纳米碳管，这样的极小厚度就使得它能够与神经元精确无缝地接触，在提升我们大脑能力的同时，保持我们的容貌不被改变。

同时，如果我们需要把自己连接到超级电脑上以上传信息，我们不

必像《黑客帝国》里描写的那样用线缆连接自己的脊柱。无线连接就能使我们存取电脑中的海量信息，需要做的仅仅是在大脑中标定最近的服务器的位置。

今天，我们已经有了人工耳蜗和人工视网膜，能够为病人带来听觉和视觉。将来，纳米技术会提升我们的所有感觉，同时保持我们的基本外形。例如，我们可能会用基因转化或外骨骼来增强我们的肌肉。也许会出现人体商店，当旧的身体零件磨损后，可供我们选购新的备用零件。不过这些零件以及其他提升身体能力的东西都会保持人类的外形。

在洞穴人原理下，这种技术的另一种用途是把它当作一种后备选项，而不是一种永久的存在方式。一个人可能更希望对这项技术的使用有选择性。科学家可能希望提高智力以解决某个棘手的问题。之后，他们可能摘下头盔或拿出植入物，过他正常的生活。这样，在朋友面前我们就不必以宇航员的面貌示人了。重要的是，没有人会逼迫你做这些。我们渴望得到这项技术带来的福祉，而不必看起来很傻。

因此，几个世纪之后，我们的身体与今天相比看起来可能没什么两样，不过我们的身体会更完善，拥有超强的力量。我们的意识仍被古老的欲望和愿望所占据，这是猿类祖先留给我们的遗产。

但永生的问题呢？我们已经看到，反向工程制造出的大脑，由于复制了原体个体的各种古怪性格，如果放到电脑中最终会导致疯狂。另外，把这样一个大脑连接到外部传感器，让他感知周围环境，会得到一个张牙舞爪的怪物。把反向工程大脑连接到外骨骼上可以部分地解决这个问题。如果这个外骨骼能够起到替身的作用，那么反向工程大脑就能拥有触觉、视觉这样的感觉，而不必看起来很奇怪。最终，这副外骨骼可以用无线连接，这样它就能像人一样活动，只不过是由一个“生活”在计算机中的反向工程大脑所控制。

这个替身拥有两个世界的优势。作为外骨骼，它本身应该是完美的。它应该拥有超能力。而由于它被连接在计算机中的反向工程大脑上，它又是永生的。最后，由于它能够感知周围环境，而且看起来像人，所以在与人的交往中不会遇到太多困难，其他人也很可能会选择这种存在方式。所以，真正的脑连接组会存在于静止的超级计算机中，而它的意识会体现在一个完美的可活动的替身躯体中。

所有这些所需的科技水平远远超过了今天所能达到的程度。然而，鉴于科学的快速进步，这可能在本世纪末成为现实。

逐步转移

现在的反向工程技术需要逐个神经元地转移大脑中的信息，这要把大脑切成薄薄的切片才能做到，因为磁共振成像扫描技术还不够精密，无法准确识别活体大脑的神经架构。所以在达到这项技术之前，这个方

法的明显劣势在于你必须先死去，然后才能被反向工程。由于大脑在人死亡后很快腐败，就必须立即对它进行保存，这一点很难做到。

然而有一种方法也许可以让我们在去世前获得永生。这个想法由汉斯·莫拉韦克博士提出，他是卡内基梅隆大学人工智能实验室前主任。在我对他的采访中，他告诉我，在遥远的未来，我们能够对大脑进行反向工程，以达成一个具体的目的，即当人清醒时就能把人的心灵传递到不会死去的机器人身体中。如果我们能对大脑中的每个神经元进行反向工程，那么为什么不能制造出由晶体管制成的副本，来精确复制大脑的思维过程呢？这样，你就不必为了得到永生而必须先死去了。整个过程中，你都可以保持清醒。

他告诉我，这个过程应该分步进行。首先，你躺在一张病床上，旁边放着没有大脑的机器人。然后，一个机器人医生从你的大脑中抽取出几个神经元，用机器人体内所携带的晶体管复制这些神经元。你的大脑与机器人身体空白头颅里的晶体管之间用金属线相连接。完成后，就不再需要这些神经元，它们已由晶体管回路所取代。由于你的大脑仍通过金属线与晶体管相连接，所以它的功能完好，整个过程中你都完全清醒。然后，这个超级医生会从你的大脑中不断地取出更多的神经元，每次取出后都用机器人体内的晶体管予以复制。在这个手术进行到一半时，你的大脑的一半会成为空白，另一半则通过导线连接到机器人头颅里的晶体管上。最后，大脑的所有神经元都会被取出，而机器人的大脑会成为你原来大脑的精确复制品，每个神经元都一样。

手术结束后，你从病床上起来，你会发现自己的身体完好无损。你的容貌美丽精致到难以想象，而且你拥有了超人的力量和能力。而且，你将不朽，这可以让你好好高兴一下。你回头看看原来那个终将会死去的身体，它现在成了一个没有大脑的快速老去的空壳。

当然，这项技术远远超越我们的时代。我们还不能对人类大脑进行反向工程，更别提用晶体管制造出碳副本了。（对于这种方法的主要反对意见是，晶体管制成的大脑可能无法融合进我们的头颅。事实上，按照电子部件的大小，晶体管制成的大脑可能要有一架超级计算机那么大。在这个意义上，这种方法与前一种有点相像了，前一种方法是把反向工程大脑储存在超级计算机中，由它控制一个替身。不过这种方法有一个巨大的优势，即你不必死去。在整个过程中你可以完全清醒。）

考察这些可能性会让一个人头晕目眩。它们似乎都符合物理规律，但实现这些可能性却面临着巨大的技术障碍。这些关于把人的意识上传到计算机中的设想，都需要用到在遥远的未来才会出现的技术。

然而，还有一种实现永生的设想，它根本不用对大脑进行反向工程。它只需要一种能够操控单个原子的微型“纳米机器人”。既然可以进行定期“调整”使它永生，那么为什么不以自然的身体永远活下去呢？

什么是衰老？

这种新方法涉及对衰老过程的最新研究。在历史上，生物学家之间对于衰老的原因并没有统一的观点。但在过去的10年里，有一种理论逐渐获得了认可，使衰老研究的很多方向得到了统一。从根本上说，衰老是在基因水平和细胞水平上的错误累积的结果。当细胞衰老时，DNA中的错误便会逐渐增加，细胞碎片也会累积，使细胞变得迟钝。随着细胞开始慢慢地失灵，皮肤会变得松弛，骨头变得脆弱，头发脱落，免疫系统会恶化。最终，我们会死去。

但细胞也有纠错机制。不过随着时间的流逝，这些纠错机制也会失效，衰老会加速。因此，我们的目标是增强细胞自然修复机制，这可以用基因疗法和制造新的化学酶的方法来达成。还有一种方法：使用 “纳米机器人”组装器。

这项未来技术中的关键一环是被称为“纳米机器人”的东西，或者叫做原子机器，它可以在血液中巡逻，杀死癌细胞，修复因衰老而造成的细胞损害，使我们保持永远年轻、健康。大自然已经创造出这种纳米机器人，它们是在人体血液内巡逻的免疫细胞。但这些细胞针对的是病毒和异物，而不是衰老。

如果这些纳米机器人能够在分子和细胞层面扭转衰老过程的蔓延，那么永生就唾手可得了。在这个设想中，纳米机器人就像免疫细胞一样，它们在血液中巡逻，就像微型警察。它们会杀死所有癌细胞，中和病毒，清理碎片垃圾和变异的东西。这样，我们自己的身体就得到了永生，而无须借助机器人或者克隆人。

纳米机器人：现实或幻想？

我自己的哲学是，如果某个东西符合物理规律，那么制造它就只是工程和经济问题。当然，工程和经济上也许有巨大的障碍，使我们暂时还不能得到这种东西，但终究这是可能的。

从表面上看来，纳米机器人十分简单，它们是拥有手臂和镊刀的原子机器，可以抓取分子，在特定时刻进行切割，并在之后重新拼合起来。通过切割、黏合各种各样的原子，纳米机器人可以制造出几乎所有已知的分子，就像一个魔术师从帽子里不断拿出东西一样。它还能自我复制，所以我们要制造的仅仅是一个纳米机器人。之后，这个纳米机器人会吸收并消化原材料，制造出上百万个其他纳米机器人。随着材料成本的下降，这可能会引发第二次工业革命。有一天，也许每个家庭都会拥有自己的分子组装器，因此，你只要告诉它自己想要的东西，它就会组装出来。

但关键的问题是：纳米机器人符合物理规律吗？在2001年的时候，有两个高瞻远瞩的人为这个核心问题吵得不可开交。这里所涉及的问题

关乎整个科技的未来走向。其中一方是已故的诺贝尔化学奖得主理查德·斯莫利（Richard Smalley），他对纳米机器人持批评态度。另一方是埃里克·德雷克斯勒（Eric Drexler），纳米科技的奠基人。他们之间针尖对麦芒式的激烈争吵见于2001年至2003年的多份科学期刊上。

斯莫利说，在原子尺度上，新的量子作用力的出现会使制造纳米机器人根本不可能。他宣称，德雷克斯勒以及其他人的错误在于，拥有手臂和镊刀的纳米机器人在原子尺度上根本不能发挥作用。有几种新奇的力（如卡西米尔力［Casimir force］）会使原子相互排斥或相互吸引。他把这个问题称为“黏性胖手指”（sticky, fat fingers）问题，因为纳米机器人的手指不可能像镊刀、钳子一样灵活准确。量子作用力挡住了去路，这就像焊接金属时戴上了好几英寸厚的手套。另外，每当你要焊接几片金属时，这些金属就会相互排斥或黏附在你手上，你根本无法牢牢抓住其中一片。

德雷克斯勒进行了反击，他说纳米机器人并不是科学幻想：它们已经存在了。想想我们体内的核糖体。它们就是在制造和塑造DNA分子。它们能够在某些时刻切开和黏合DNA分子，这使得制造新的DNA链成为可能。

然而，斯莫利并不满足，他认为核糖体并不是万能的机器，不能切割和黏合所有你想要的东西，它们只对DNA分子发生作用。此外，核糖体本身是有机化学成分，需要酶促使反应发生，而这种反应只能发生在水性环境中。所以他得出的结论是，由于晶体管由硅制成，而且不包含水，所以这些酶不会发挥作用。之后，德雷克斯勒又提到催化剂没有水也能发挥作用。这种激烈的争辩来来回回进行了好几个回合。最后，就像两个势均力敌的拳手，双方都有些精疲力竭了。德雷克斯勒不得不承认，与使用切割器或喷灯的工人的类比有些太简化了，量子作用力有时的确会阻碍我们前进。而斯莫利也必须承认，他没有完全击败对方。大自然至少提供了一种避开“黏性胖手指”问题的方法，即核糖体。除此之外，也许还有其他微妙的、未知的方法。

不管这场论战的进展如何，雷·库兹韦尔仍然相信，无论这些纳米机器人的手指是否黏性、肥胖、笨拙，终有一天，它们不但能塑造分子，而且能塑造整个社会。他用下面的话概括了自己的预见：“我没有死亡的打算……我觉得，从终极意义上它将唤醒整个宇宙。我认为，现在的宇宙基本上是由非智能的物质和能量构成的，并且我相信它终将苏醒。但是，如果它要转化成一种高级的智能物质和能量，我希望成为它的一部分。”

尽管这些推测很不可思议，但它们揭开了下面这种推测的序曲。也许有一天，心灵不仅不会受到肉身的束缚，而且可以作为纯能量遨游宇宙。意识有一天能够自由地在恒星之间飘荡，这种想法代表着我们的终极梦想。虽然听起来难以置信，这的确没有违反物理规律。

13　作为纯能量的心灵

物理学家严肃地探究了将来有一天意识能散播到整个宇宙中的想法。英国皇家天文学家马丁·里斯（Martin Rees）爵士写道：“虫洞、额外维度和量子计算机打开了想象的空间，这可能会将我们的整个宇宙最终转化为一个‘活的宇宙’！”

但有一天心灵真的会脱离肉体，开始探索整个宇宙吗？艾萨克·阿西莫夫的经典科幻故事《最后的问题》（The Last Question）探讨了这个主题。（他会欣然把这部短篇科幻小说集归为自己的最爱。）在这个故事中，几十亿年后的人类会在某个不知名的行星上把自己的肉体置于吊舱中，让自己的心灵通过纯能量释放以控制整个银河系。这些替身并非由钢铁或硅制成，而是纯能量生物，能毫不费力地遨游在遥远的太空中，饱览过往爆炸的恒星、互相碰撞的星系以及其他宇宙奇观。但不论人类变得多么强大，当它面对宇宙的最终灭亡，即“大冻结”来临时，它仍然会无助。在绝望中，人类建造了一台超级计算机来回答这个终极问题：宇宙的灭亡可以被逆转吗？这台计算机如此之大，如此之复杂，它只能存在于超空间中。但它的回答仅仅是，信息不足，无法给出答案。

几个世纪之后，恒星开始暗淡，宇宙中的所有生命都濒临灭绝。但此时，这台超级计算机终于找出了一种逆转宇宙灭亡过程的方法。它在整个宇宙中搜集死亡的恒星，把它们结合成一个巨大的宇宙球，并将其点燃。随着这个球的爆炸，这台超级计算机发出宣告：“让这里有光！”

于是有了光。

也就是说，脱离肉体的人类可以成为上帝，可以创造出新的宇宙。

起初，由阿西莫夫塑造的在宇宙中遨游的纯能量生物听起来很不可信。我们已经习惯于把生物想象为由肉体和血液构成，受物理规律和生物规律的支配，在地球上生活和呼吸，被我们这个行星的引力所束缚。于是，由能量构成的意识实体流畅地穿梭在星系中，不受肉体的限制，这种想法是很奇怪的。

但以纯能量的形式探索宇宙的梦想并不违反物理规律。试想我们最熟悉的纯能量形式，激光束，它能包含大量信息。当今，每天有上万亿个电话、数据包、视频和电子邮件等信号由携带激光束的光缆即时传输。有一天，也许在下一个世纪的某个时候，我们就能够把我们的整个人脑连接组置于强大的激光束上，将我们自己的大脑意识传输到整个太阳系。再过一个世纪，我们也许能借助一条光束把自己的人脑连接组发送到恒星上。

（这是可能的，因为激光束的波长十分小，只有百万分之一米的级别。这就意味着可以把海量的信息加载到激光束的波形上。比如摩尔斯密码，其中的点和线可以轻松地加载到一条激光束的波形上。一条X射线束能加载更多的信息，因为它的波长比一个原子还要小。）

这样，探索银河系的一个方法就是把我们的人脑连接组加载到激光束上，定向发射到月球、行星乃至恒星上，这不会受到任何普通物质会遇到的恼人限制。鉴于目前寻找大脑通路的计划正在加紧实施，我们可以在本世纪末得到完整的人脑连接组，到下个世纪，就可能将脑连接组以某种形式置于激光束上。

这条激光束会包含重组一个有意识的人所需要的所有信息。尽管这条光束达到目的地可能需要几年甚至几个世纪的时间，但对乘坐在这条激光束上的人看来，这趟旅行只是一瞬间的事。从根本上讲，我们的意识被冻结在激光束上，它飞快地经过宇宙真空空间，而对于我们来说到达银河的另一端好像就是一眨眼的工夫。

这样，我们就避免了行星际旅行和恒星际旅行的所有糟糕经历。首先，我们不必建造硕大的推进火箭。你只需按下激光的“开”这个按钮就够了。其次，我们不必承受加速进入空间时给身体带来的数倍于g值的过载。由于我们没有物质身体，可以瞬间加速到光速。第三，我们不必遭受外太空的各种危险，如流星的撞击和致命的宇宙射线，因为小行星和辐射可以从我们身上穿过，不会带来伤害。第四，我们不必把自己的身体冰冻起来，或者在传统的火箭飞船中忍受几年的孤单寂寞。相反，我们以这个宇宙中最快的速度穿过太空，时间对于我们是停止的。

一旦我们到达目的地，那里会有一个接收站，可以把激光束上的数据传送到主机上，主机再把这个有意识的生物唤醒。现在，计算机由加载在激光束上的密码控制，程序由它来调度。这个人脑连接组指挥主机模拟未来，达成自己的目的（也就是说，它有意识了）。

之后，这个存在于主机里的有意识的生物通过无线向机器人替身发出信号，这个机器人在目的地等候我们多时了。用这种方法，我们在一个遥远的行星或恒星上突然“苏醒”了，我们的身体就是替身的机器人身体，整个旅程就像眨眼之间的事。所有复杂计算都在一台庞大的主机内进行，由它指挥替身的移动，以执行我们在这个遥远星球上的任务。我们并不在意宇宙旅行的危险，就好像什么事都没发生一样。

设想一下，整个太阳系甚至是整个银河系都布满了这种接收站。从我们的角度看来，从一个恒星到另一个恒星几乎毫不费力，我们以光速前进，整个路程瞬时完成。每个接收站里都有一个机器人替身等待我们进入其中，就像一所没人住的旅馆等待我们登记入住。我们到达目的地时精神饱满，之后拥有了超人般的身体。

在旅程尽头等待我们的机器人，它的身体构造与我们要执行的任务

有关。如果我们的工作是探索未知世界，那么替身须能够在恶劣的条件下工作，可以适应不同的引力场、有毒的大气、极寒或极热的温度、不同的日夜周期和源源不断的致命辐射。要在这种恶劣条件下生存，替身必须具有超强的力量和超强的感觉。

如果需要替身的身体进行放松，那么就按照休闲活动的目的进行设计，比如增强坐雪橇、滑板、风筝、滑翔机或在飞机上遨游太空的乐趣，或者提升用球拍、球棒或球棍把球打到宇宙空间中去的快乐。

或者，如果我们的工作是与当地人进行交往，研究他们的生活，那么替身就应该接近土著人的身体特征（这正是我们在电影《阿凡达》中所看到的）。

必须承认，最初建立这种激光接收站时可能不得不使用传统的星际旅行的方法，即传统火箭飞船。然后，我们可以建立第一批激光接收站。（也许建立这种星际网络最快捷、最便宜、最有效的方法是把能够自我复制的机器人探测器送入银河系。因为它们能够自我复制，一个探测器经过几代的时间后就会复制出几十亿个探测器，向各个方向飞去，每个探测器降落后都会建立一个激光接收站。关于这种情况，我们将在下一章讨论。）

一旦这个网络完全建立起来，我们会看到有意识的生物会汇成洪流，在整个星系中游荡，任何一个时刻，都会有大批人从遥远的星系出发或离开。很可能，这个网络里的所有激光站都像纽约中央火车站一样繁忙。

这一切听起来有些未来主义，但这种想法的基本物理规律已经完全建立。这包括把海量信息加载到激光束，然后把信息传送到上千英里外，并在接收端解码的规律。因此，这种想法所面临的主要问题并不是物理规律，而是工程技术。正是由于这一点，我们也许要到下个世纪才能把完整的人脑连接组加载到能量强大的激光束上，以到达其他行星，也许还需要一个世纪的时间我们才能把自己的意识“照射”到恒星上。

要验证这种方法是否可行，我们可以进行一些简单的、粗略的计算。第一问题是，如同铅笔粗细的激光束中所携带的光子虽然表面上具有完美的平行结构，但在太空中仍然会稍稍发散。（当我还是小孩子的时候，我用手电筒照射月亮，想知道这束光能不能到达月亮。答案是肯定的。原始光束超过90%被大气所吸收，留下的一些会达到月球。但真正的问题是，手电光最终照射在月球的图像会有几英里宽。这是由于测不准原理的作用。激光束也会慢慢发散。由于我们不能准确获知激光束的位置，按照量子力学的规律，它只能随着时间慢慢扩散开来。）

然而，把我们的人脑连接组照射到月球上并不会给我们带来多大好处，因为我们可以待在地球上，轻松地用无线电直接控制月亮上的替身。而当我们控制行星上的替身时就体现出这种方法的优势了，无线电

信号要花上几个小时才能传递到那里的替身，而向替身发送无线电指令，等待回应，然后再发送另外一个指令的过程会缓慢到让人痛苦，要花几天的时间。

如果你要把激光束发送到行星上，你首先要在月球大气表面建立起一个激光组，这样就避免了空气对信号的吸收。从月球出发，激光束可以在几分钟或几小时内达到行星。一旦激光束把脑连接组发送到行星上，我们就能够直接控制替身，而不会出现任何延迟效应。

在太阳系建立这种激光接收站网络到下个世纪可以完成。但要把激光束发送到恒星上要困难得多。这意味着我们必须在沿途的小行星和空间站上建立中继站，以放大信号，降低误差，然后把信息传递到下一个中继站。我们也许可以利用太阳与附近恒星之间的彗星来达到这个目的。例如，距离太阳1光年远的地方（即离我们最近恒星距离的四分之一）就是由彗星组成的奥尔特彗星云。它是圆球体，包含几十亿颗彗星，其中很多都在真空空间中静止不动。围绕着半人马座恒星系也很可能存在着与奥尔特彗星云相似的彗星群，它是距离我们最近的恒星系。假设奥尔特彗星云距离这些恒星有1光年的延伸幅度，那么从我们的太阳系到下一个星系就有一半的距离布满静止的彗星，在这些彗星上我们可以建造中继站。

另外一个问题是由激光束发送的信息量。根据塞巴斯蒂安·承博士的计算，一个人的大脑连接组中所包含的信息总数大约有1ZB（1后面21个零）。这几乎相当于今天互联网上所有信息的总和。设想一个激光组加载有这样的海量信息，照射到太空中。光纤每秒钟可以携带　TB级数量的信息（1后面12个零）。在22世纪，信息储存、数据压缩以及激光束打包的技术将会把这种信息传输速率提高上百万倍。这就意味着，要把加载有整个大脑信息的激光束发射到太空要花上数个小时。

所以，问题并不在于激光束上加载的信息总数。在理论上，激光可以携带无数的数据。真正的瓶颈是处在另一端的接收站，它必须有某种装置能够以极快的速度处理这些信息。硅晶体管可能无法胜任处理这种体量的数据。我们可能不得不使用量子计算机，它计算的基础不是硅晶体管，而是单个原子。目前，量子计算机还处在原始水平，不过到下个世纪它们也许会十分强大，足以处理ZB级的信息。

飘浮的能量生物

使用量子计算机处理这种海量信息的另一个好处是，我们有机会制造出可以在空中悬停和飘浮的能量生物，这种生物经常在科幻小说和奇幻小说中出现。它们可能是最纯粹形式的意识表现。看起来，这种生物似乎违背了物理规律，因为光总是以光速传播。

但在过去的10年中，哈佛大学的物理学家宣布，他们能够使一条光

束在行进路径中死亡般停顿静止，这使他们得到极大关注。很明显，这些物理学家完成了不可能的事——把一条光束的速度降到缓慢的程度，最后使其完全静止放置在一个瓶子里。如果你仔细观察一瓶水，也许用瓶子捕捉光束就不会那么神奇了。当一条光束进入水中时，它会放慢速度，并在进入水中后发生一定的角度弯曲。同样，光束进入玻璃后也会发生弯曲，这使得望远镜和显微镜成为可能。这些现象的原因都来自量子理论。

想象一下19世纪在美国西部送信的老式快马邮递。每匹马都能在中继站之间以非常快的速度飞驰。但瓶颈在于每个中继站的延迟效应，因为要在那里交换邮件，更换骑手和马匹。这大大降低了邮件寄送的平均速度。同样，在原子之间的真空中，光以光速c传播，大约每秒186 282英里（30万公里）。然后，当它碰到原子时，光就会被延迟；它被原子短暂地吸收，几分之一秒之后重新发射出去。总体来说，光束的这种微弱延迟造成了光在玻璃或水中的速度放慢。

哈佛大学的科学家探究了这种现象，他们把一个气体容器精心地降温到接近绝对零度。在这种温度下，气体原子在吸收光束很久之后才会把它重新发射出去。这样，通过提升延迟效应，他们降低了光束的速度，直到它完全静止。光束在气体原子之间仍然以光速传播，但原子吸收光束花去很长时间。

这就带来了一种可能性，有意识的生物可能会选择以纯能量的形式存在，并以这种形式遨游太空，就像幽灵一样，而不用去控制一个替身。

这样，将来携带大脑连接组的激光束被发送到恒星后，它可以转化为一团气体分子，并储存在一个瓶子里。这个“瓶装光”与量子计算机非常接近。它们都包含发生一致振动的一批原子，这些原子的相位彼此相同。而且它们都能进行复杂的计算，这种计算是普通计算机无法完成的。所以，如果量子计算机的问题可以解决，我们可能也会获得控制这些“瓶装光”的能力。

超光速？

我们看到的所有这些问题都是工程技术问题。在下个世纪或更远的时间实现用一条能量束进行旅行，这并没有物理规律上的限制。也许这是到达其他行星和恒星的最便捷的方法。就像一些诗人梦想的那样，我们不用骑在一条光束上，我们成了光束本身。

要真正实现阿西莫夫在科幻故事中描绘的蓝图，我们需要回答超光速跨星系旅行是否真的可能。在这个小故事中，拥有超强能力的生物可以自由地在相距几百万光年的星系之间穿行。

这可能吗？要回答这个问题，我们不得不推进现代量子物理的最前

沿研究。最终，被称为“虫洞”的东西可能会提供一种在浩瀚的空间和时间中穿行的捷径。然而，就穿越虫洞来说，纯能量生物会比物质生物有着决定性的优势。

在某种意义上，爱因斯坦有点像街区的警察，他宣布你不能以超光速行驶，这是宇宙的终极速度。比如，穿越我们的银河系旅行，即便以激光的方式进行也要10万年的时间。虽然对于旅行者来说，这仅仅是一眨眼的工夫，但在地球家园上的时间已经过了10万年。而在星系之间穿行要用上百万至上亿光年。

但是，爱因斯坦在他的著作中留下了一扇后门（漏洞）。在他1915年的广义相对论中，他提出引力产生于空间-时间的扭曲。引力并不是一种神秘的隐形的“拉力”，这是牛顿的看法；但实际上，引力是一种因空间在一个物体周围扭曲而产生的一种“推力”。这个理论不仅精巧地解释了星光邻近掠过恒星时发生偏转以及宇宙膨胀的现象，也提出拉伸的时空织构发生断裂的可能性。

1935年，爱因斯坦和他的学生纳森·罗森（Nathan Rosen）引入了一种可能性，即两个黑洞解可以背靠背结合在一起，就像连体婴儿一样，如果你掉进一个黑洞中，理论上可以从另一个黑洞中出来。（设想我们把两个漏斗对接，从一个漏斗中流入的水会从另一个漏斗中流出来。）这个“虫洞”也称作爱因斯坦-罗森桥，也许可以作为不同宇宙之间的入口或大门。爱因斯坦自己不相信人能穿过黑洞，因为人会在这个过程中被压碎，但后来的几个实验都提出了穿越虫洞，进行超光速旅行的可能性。

首先，1963年数学家罗伊·克尔（Roy Kerr）发现，一个旋转的黑洞并不会像之前设想的那样坍塌为一个单一的点，而是坍塌为一个旋转的环，它旋转的速度十分快，以至于它的离心力会使其不再坍塌。如果你掉进这个环中，那么你就会进入另一个宇宙。环中的引力会十分巨大，但并非无限。这有点像爱丽丝的梳妆镜，你可以把手伸进镜子，进入一个平行宇宙。梳妆镜的边缘是构成黑洞的环。自克尔的发现开始，又出现很多其他爱因斯坦方程的解，表明在理论上我们可以在宇宙之间穿行，而不会被立即压碎。到目前为止，由于我们在空间中观察到的黑洞都以十分快的速度旋转（有一些每小时旋转100万英里［**161**万公里］），这就意味着像这样的宇宙通道也许是很常见的。

1988年，加州理工学院的物理学家基普·索恩（Kip Thorne）博士和他的同事提出，在有足够“负能量”的条件下能够使黑洞稳定下来，虫洞也就可以“穿越”了（即，可以自由地通过黑洞，而不会被它压碎）。负能量也许是宇宙中最奇异的物质，但它真的存在，而且可以在实验室中（以微观量地）制造出来。

这就有了一种新的模式。第一，一个先进的文明可以在某个点上汇聚足够多的正能量，这相当于一个黑洞，从而在太空中打开一个能够连

接相距遥远的两个点之间的洞。第二，它能够汇聚足够多的负能量，使这个通道保持打开的稳定状态，这样你进入其中后，它不会马上关闭。

现在，我们可以更好地看待这个想法。在本世纪末，绘制完整的人类大脑连接组会成为现实。下个世纪初，会建立起行星之间的激光网络，这样，意识可以通过激光在太阳系中穿行。这一切不需要新的物理规律。恒星之间的激光网络需要再等一个世纪才能建成。然而，一个可以利用虫洞的文明要在技术上领先我们上千年，超越了已知物理规律的最前沿。

所有这些都与意识能否在宇宙之间穿行有关。如果物质靠近一个黑洞，强大的引力会把你的身体压成“意大利面条”。你的脚受到的引力牵拉将大于你的头到的引力牵拉，这样你的身体就被这种的潮汐力拉伸。事实上，当你靠近黑洞时，甚至构成你身体的原子也会被拉伸，直到电子从原子核撕裂出来，最后你的原子解体。

（要认识这种潮汐力的威力，只要看看地球上的潮汐现象和土星环就够了。月球和太阳的引力对地球有牵拉作用，使得海洋在满潮时会升高几英尺。如果月球接近像土星这样的巨行星，潮汐力会拉伸月球，直至最后把它撕裂。月球被潮汐力撕裂的临界距离被称为洛希极限［Roche limit］。土星环正好坐落在洛希极限上，所以它们可能是某一个月球离母星太近的结果。）

即使我们进入一个旋转的黑洞，并用负能量使其保持稳定，引力场仍然过于强大，会把我们压成意大利面条。

在这一点上，激光束穿过虫洞相比物质有着巨大的优势。激光是非物质性的，在其接近黑洞时不会受潮汐力的拉伸，相反，它会发生“蓝移”（即，它获得了能量，频率得到提升）。虽然激光本身会发生弯曲，但它所加载的能量不会受到影响。比如说，激光束上加载的摩尔斯密码会被压缩，但它承载的信息内容没有发生变化。数字信息不受潮汐力的影响。因此，对于物质生物来说具有致命性的引力，对于加载在光束上的生物可能是无害的。

这样，由一条激光束携带的意识，由于它是非物质性的，在穿过虫洞时就有着物质无法比拟的优势。

相较于物质，激光束通过虫洞时还有另外一个优势。根据一些物理学家的计算，也许可以较容易地制造出大约一个原子大小的微型虫洞。物质可能无法通过这么微小的虫洞。但波长小于一个原子的X射线激光可以毫无困难地通过。

虽然阿西莫夫的精彩故事明显是虚构的，但有意思的是星系中可能已经有了一个巨大的恒星际激光站网络，但由于我们还很原始，完全没有意识到它的存在。

对于领先我们几千年的文明来说，把大脑连接组数字化的技术以及把这些信息发送到恒星的技术可能已无异于小儿科。如果是这样，很有可能智慧生物已经开始用星系中的激光网络实现意识的快速传输了。我们最先进的望远镜和人造卫星也无法观察到这种跨星系的网络。

卡尔·萨根曾经感慨道，我们生存的世界可能布满了外星文明，但我们自己的技术却无法感知它们的存在。

接下来的一个问题是：外星人的心灵里潜伏着什么？

如果我们遇到这种先进的文明，它们会有怎样的意识呢？终将有一天，人类物种的命运将系于这个问题之上。

14　外星人的心灵

有时我想，智慧生命存在于宇宙中的最确定的证据是它们当中没有一个试图联系我们。

——比尔·沃特森（**Bill Watterson**）

外太空要么存在智慧生物，要么不存在。这两个可能性都令人恐惧。

——亚瑟·查尔斯·克拉克（**Arthur C. Clarke**）

在赫伯特·乔治·威尔斯（H.G.Wells）的小说《星球大战》（War of the Worlds）中，火星人的母星濒临死亡，他们开始进攻地球。在死光武器和巨大的行军机器的帮助下，他们很快烧毁了多座城市，很多首都已快落在他们的掌握之中。随着火星人击垮人类的抵抗，我们的文明几成废墟，但他们奇怪地在行进过程中停了下来。他们虽然有先进的科学和武器，却没有考虑到最低等生物的侵袭：我们的细菌。

这本小说开创了一个全新的文学样式，催生了几千部像《飞碟入侵地球》（Earth vs. the Flying Saucers）和《独立日》（Independence Day）这样的电影。不过多数科学家看到他们所描写的外星人都会感到不安。在电影中，外星人常被刻画成一种具有某些人类知觉和情感的生物。他们虽然有闪闪发亮的绿色皮肤和硕大的脑袋，但整体相貌却与我们很相似，而且他们都会说标准英语。

但正如很多科学家指出的，比起太空中的外星生物来，我们可能与龙虾或海参有着更多的共同点。

与硅意识相同，外星人的意识很可能也符合我们的时空理论的大致特征，即构建世界的模型，然后计算出怎样进化才能实现目标。不过机器人的程序可以保证它们与人类联系在一起，保证它们的目标与我们的目标相融合，这两点外星人意识都不具备。它们很可能有着自己的价值和目标，完全独立于人类。我们只能猜测这些价值和目标是什么。

普林斯顿大学高等研究院的物理学家弗里曼·戴森（Freeman Dyson）博士担任过电影《2001：太空遨游》的顾问。当他最后看到成片时，他觉得很满意，这并不是因为电影中令人眼花缭乱的特效，而是因为这是第一部展现与我们的意识完全不同的外星人意识的电影，他们有着自己的欲望、目标和意图。在这部电影里，外星人不再是由人类演员穿着俗气的着装，乱挥乱舞装出吓人的模样。他们的意识与我们的经

验完全不同，完全超出我们的认识。

2011年，斯蒂芬·霍金（Stephen Hawking）提出了另外一个问题。这位著名的宇宙学家说，我们必须对可能的外星人进攻做好准备，这使他上了新闻头条。他说，如果我们遇到远比我们先进的外星文明，他们就会对我们的生存构成致命威胁。

我们只要看看阿兹特克人（Aztecs，墨西哥古民）遇到嗜血如命的由埃尔南·科尔特斯（Hernán Cortés）和他率领的西班牙征服者们之后的遭遇，就能想象这种决定性的遭遇会带来什么。这群凶残的暴徒装备有铁剑、火药和战马，这些技术是还处在青铜时代的阿兹特克人闻所未闻的，他们在1521年仅用了几个月的时间就毁灭了古老的阿兹特克文明。

所有这些让我们思考三个问题：外星人的意识会是什么样？他们的思考过程和目标与我们有什么不同？他们想要什么？

这个世纪的第一次接触

这不是一个学术问题。随着天体物理学的显著进步，我们在未来几十年真的有可能与一个外星人智慧发生接触。我们怎样做出回应将会成为决定人类历史的关键事件之一。

有几种进步使这一天成为可能。

第一，2011年开普勒卫星在历史上第一次为科学家提供了银河系的“人口普查结果”。在分析了由数千颗恒星发出的光线之后，开普勒卫星发现，每两百颗恒星中就有一颗恒星可能庇护位于可居住带的一个类地行星。我们第一次计算出银河系中有多少行星可能与地球相似：大约10亿颗。当我们遥望遥远的星星时，我们有理由去猜测，是不是也有人正在遥望着我们。

到目前为止，陆基望远镜细致分析了1 000多颗太阳系外行星。（天文学家以每星期约两颗的速度不断发现系外行星。）不幸的是，它们几乎全是木星大小，很可能没有类地球生命，不过也有几个“超级地球”，它们布满石块，比地球大好几倍。开普勒卫星已经在太空中识别出大约2 500颗系外行星，其中有几个与地球非常相像。这些行星与其恒星的距离合适，有存在液态海洋的可能。而液态水是一种“万能的溶液”，能够分解多数有机化合物，如DNA和蛋白质。

2013年，美国国家航空航天局的科学家宣布了他们使用开普勒卫星所得到的惊人发现：有两个系外行星与地球几乎相同。它们都坐落在1 200光年远的天琴星座。一个仅比地球大60%，而另一个仅大40%。更为重要的是，它们都处在恒星的可居住带，因此都可能有液态海洋。在所有被分析过的行星中，这两个与地球最为接近。

除此之外，哈勃太空望远镜已经帮我们估计出可见宇宙中星系的总数：1 000亿个。因此，我们可以计算出可见宇宙中类地行星的数量：10亿乘以1 000亿，即10 000亿亿颗类地行星。

这真是一个天文数字，于是宇宙中存在生命的概率也像天文数字一样大，特别是当我们考虑到宇宙138亿年的寿命时更是如此，因为有足够的时间让智慧帝国崛起——或许还有衰落。事实上，如果没有另外的先进文明存在，这才是奇迹。

SETI和外星文明

第二，射电望远镜技术已经十分精密。目前为止，我们只仔细探究了大约1 000颗恒星，以寻找智慧生命的迹象。在未来10年，这个数字会以一百万的级别上升。

利用射电望远镜搜寻外星文明可以追溯到1960年。那一年，天文学家弗兰克·德雷克（Frank Drake）启动了奥兹玛计划（以奥兹国的女王来命名），采用的是位于西弗吉尼亚绿岸山区的25米射电望远镜。这标志着搜寻地外文明计划（SETI）的诞生。不幸的是，我们并没有获得外星生命的信号，不过在1971年美国国家航空航天局提出了天眼计划，要使用1 500台射电望远镜，花费100亿美元。

毫不奇怪，这个计划没有成行。国会不买账。

有个小得多的计划的确得到了资金：1971年一套仔细编码的信息被发送给外太空的生命。这个编码信息包含1 679个字节，通过位于波多黎各的巨大的阿雷西博射电望远镜向球状星团M13发射，它离我们大约25 100光年远。这是我们这个世界发出的第一张宇宙贺卡，携带着关于人类物种的相关信息，但我们没有收到回信。也许，外星人对我们不感兴趣，或者可能是路途上光速的限制。按所涉及的遥远距离计算，我们收到回信最早也要到52 174年之后。

从那时起，有些科学家就对向太空中的外星人表明我们存在的做法表达了担忧，我们至少要先弄清楚他们对我们的意图。这些科学家与主动搜寻地外文明计划（METI，即“给外星高智生物发送信息”）的支持者有着不同的观点，后者积极主动地推进向太空中的外星文明发送信号的计划。METI计划背后的理由是，地球已经向外太空发送了大量的无线电信号和电视信号，因此由METI计划再发出一些信息无关痛痒。但批评METI的人认为，我们不应该毫无必要地提高外星人发现我们的概率，他们可能对我们怀有敌意。

1995年，天文学家转向私人资助，在加利福尼亚的山景城开设了搜寻地外文明（SETI）协会，进行集中研究并启动了凤凰计划，试图研究距离我们最近的、在1 200～3 000兆赫射频范围内的1 000颗类太阳恒星。这种设备十分灵敏，能够接收200光年外的机场雷达系统发出的信

号。自从建立以来，SETI协会每年耗资500万美元，扫描了1 000多颗恒星，但仍一无所获。

在家搜寻地外文明计划（SETI@home）采取了一种新的方法，这种方法由加州大学伯克利分校的天文学家在1999年提出。这个计划以数百万台个人电脑使用者作为非正式的研究人员，任何人都可以参与这个具有历史性的搜寻。当你睡觉时，你的电脑屏幕保护程序会处理一些来自于波多黎各阿雷西博射电望远镜的数据。现在，这个计划已经招募了234个国家和地区的520万人参与。这些业余的研究人员也许梦想着成为人类历史上第一个与外星生命接触的人。就像哥伦布一样，他们的名字会载入史册。SETI@home计划发展得十分迅速，现在已经是这种类型的电脑计划中最大的一个。

在我对在家搜寻地外文明（SETI@home）计划的负责人丹·韦特海默（Dan Wertheimer）博士的采访中，我问他怎样把虚假信息和真实信息区分开。他的回答让我大吃一惊。他告诉我，他们有时会故意在射电望远镜的数据中“种下”来自一个假想智慧文明的假信号。如果没有人接收这些假信号，那么他们就能知道自己的软件出了问题。也就是说，如果你的电脑屏幕保护程序宣布破译了来自外星文明的信息，请不要马上给警察打电话，也不要打电话给美国总统。这很可能是一条假信息。

外星人搜寻者

我的同事塞思·肖斯塔克（Seth Shostak）博士毕生致力于寻找外太空的智慧生物，他是搜寻地外文明（SETI）协会的负责人。他在加州理工学院获得了物理学博士学位，我本以为他会成为著名的物理学教授，指引那些充满热情的博士生，但他把自己的时间用在了完全不同的事情上：游说富翁们向SETI协会捐款，仔细研读可能的外太空信号，还主持一档无线电广播节目。我曾经问他是否遇到“讥笑的因素”——当他告诉科学家同事，他在聆听来自外太空的声音时，这些同事会不会讥笑他呢？他说，现在不会了。天文学中的新发现把这个趋势扭转了。

事实上，他甚至会公开宣扬，我们在不久的将来就会与外星文明接触。他曾经说过，在建的拥有350根天线的艾伦天文望远镜阵列“将会在2025年之前得到外来的信号”。

我问他，这个预测是不是有些过于冒险？是什么使他如此肯定？在过去的几年中，射电天文望远镜的数量呈爆炸式增长，这对他的预测是有利的因素。虽然美国政府没有为他的项目提供资助，但最近SETI协会找到了资金来源，他们说服了保罗·艾伦（微软的亿万富翁）拿出3 000万美元的基金启动艾伦天文望远镜阵列的建设，这个阵列位于旧金山以北290英里（467公里）的加利福尼亚州哈特克里克。现在有42台射电天文望远镜搜索着天空中的信号，最终这个数字将达到350台。（不过，这样的科学实验总是会遇到资金短缺的问题。为了弥补预算的减

少，位于哈特克里克的这些设备的运行费用还部分依赖军方的资助。）

他向我承认，有一件事使他有点不安。人们有时会把搜寻地外文明（SETI）计划与“不明飞行物猎手”（UFO hunters）弄混淆。他认为，前者有着坚实的物理学和天文学基础，使用最先进的科技；而后者把自己的理论建立在奇闻逸事、道听途说上，是不是真相还不一定。这里的问题是，他所得到的大量UFO目击事件无法复制，也无法检验。他催促那些宣称自己被外星人劫持到飞碟中的人，要他们偷回一些东西，比如外星人用的一支笔或一个镇纸，来证明自己的奇案。他告诉我，千万不要从UFO上空手而归。

他还总结说，并没有确凿证据表明外星人来访过我们的星球。然后我问他，他是否认为美国政府有意隐瞒遭遇外星人的证据，很多阴谋论者都这么想。他回答说：“隐藏这么大的东西，他们有这么高的效率吗？记住，这可是管理着邮政局的政府。”

德雷克方程

我问韦特海默博士，为什么他如此肯定太空中存在外星生命，他回答说，数字本身支持这种看法。回到1961年，天文学家弗兰克·德雷克（Frank Drake）在一些可能假设的基础上试图估算出智慧文明的数量。我们从银河系恒星的数量开始，有1 000亿颗，然后计算其中与我们的太阳相似的恒星数，接着再计算这些恒星中拥有行星的恒星数，以及拥有类地行星的恒星数等。在做出许多假设之后，我们得到一个估计数，即我们的银河系中应有1万个先进的文明。（卡尔·萨根用了不同的估算方法，得到的数字是100万个。）

从那以后，科学家们改进了方法，能够更好地估计银河系中先进文明的数量。例如，我们现在知道围绕恒星运行的行星数要比德雷克原先设想的多，有更多的类地行星。但我们仍然面对一个问题。即使我们知道宇宙中有多少个与地球很像的行星，我们也无法确定这些行星中有多少个承载着生命。即使在地球上，智慧生命（我们）最终从沼泽中走出也用去45亿年。其中有35亿年，生命已经出现在地球上，但真正出现像我们这样的智慧生命却是在大约10万年前。所以，即使是在地球上，真正的智慧生命的出现也是十分困难的。

他们为什么不拜访我们？

之后我问了塞思·肖斯塔克博士这个关键问题：如果银河中有这么多的恒星，存在这么多的外星文明，那么为什么他们不拜访我们呢？这就是费米悖论，以诺贝尔奖获得者恩里科·费米（Enrico Fermi）命名，他参与了原子弹的制造，解开了原子核的奥秘。

为解释这个问题出现了很多理论。有一种理论认为，恒星之间的距

离可能太过遥远。我们最有力的化学燃料火箭也要用大约7万年的时间才能到达距离地球最近的恒星。也许，比我们先进数千年甚至上百万年的文明可以解决这个问题。然而，还有另一种可能性，他们也许在自己的核战争中毁灭了。正如约翰·F.肯尼迪（John F. Kennedy）总统所言："生命在其他星球上绝迹是因为他们的科学家比我们的领先太多，我不得不说这个笑话中饱含深意。"

但也许最符合逻辑的原因是这样的：设想我们走在一条乡间小路上，碰到一个蚁丘。我们会不会深入其中，并对蚂蚁说："我给你们带来了小玩意儿，我带来了小珠子，我带来了核能。我要给你们建立一个蚂蚁天堂。带我去见你们的首领？"

很可能不会。

现在设想有一群工人正在这个蚁丘旁建造一条8车道的高速公路。这些蚂蚁会知道这些工人发出声音的频率吗？甚至，它们会知道什么是8车道高速公路吗？同样的道理，任何从其他恒星来到地球的智慧文明会比我们先进数千年甚至上百万年，我们可能没有任何吸引他们的地方。换言之，我们自大到以为外星人航行万亿英里的距离仅仅是为了拜访我们。

很可能，我们并没有出现在他们的雷达屏幕上。具有讽刺意味的是，银河系可能布满了智慧的生命形式，但我们是如此原始，根本不知道他们的存在。

第一次接触

假设我们与外星文明接触的这一时刻或早或晚终将到来。这个时刻将会是人类历史的转折点。接着的问题是：他们想要的是什么，他们的意识是什么样的？

在电影和科幻小说中，外星人常会把我们作为食物，要征服我们，把我们作为奴隶，或者掠夺我们星球上宝贵的资源。但所有这些都不太可能。

我们与外星文明的首次接触，可能不会是飞碟降落到白宫的草坪上。更可能的情况是，某个运行在家搜寻地外文明计划（SETI@home）屏保的少年宣布，自己的电脑破解了来自波多黎各阿雷西博射电望远镜的信号。也有可能是位于哈特克里克的SETI计划获得了确认智慧生命存在的信息。

也就是说，我们的第一次接触仅仅是单向的事件。我们可以监听智慧生命的信息，但回信可能要花上数十年甚至上百年才能到达他们。

我们从无线电中听到的对话可以为我们提供有关这个外星文明的宝

贵信息。不过这种信息多数可能只是闲聊、娱乐或者是音乐等，没有多少科学内容。

随后我问了肖斯塔克博士另外一个关键问题：如果发生第一次接触，你会保密吗？毕竟，这会造成群体恐惧、宗教狂热、混乱以及自发逃散吧？当他回答不会时，我有些惊讶。他们会把所有数据提供给这个世界上的政府和人民。

接下来的问题是：他们是什么样子的？他们怎样思考？

要认识外星人的意识，也许分析动物意识这种与我们人类不太相同的意识是有意义的。我们与它们一起生活，但它们头脑里的活动我们几乎完全不知道。

认识动物的意识将有助于我们认识外星人的意识。

动物意识

动物会思考吗？如果会，它们思考些什么呢？这个问题困扰了历史上最伟大的头脑几千年。古希腊作家和历史学家普鲁塔克（Plutarch）和普林尼（Pliny）都曾谈及这个著名的但至今仍未解决的问题。在几个世纪的时间里，很多哲学巨人给出了自己的答案。

一只走在路上寻找自己主人的狗，当它遇到一个三岔路口时，它先走左边的路，到处闻一闻，然后返回，它已经知道那条路主人没有走过。然后，它走右边的路，嗅一嗅，发现那也不是主人走过的路。接下来，这只狗带着胜利的心情走了中间的路，不用再闻了。

这只狗的脑袋里发生了什么呢？一些伟大的哲学家探讨了这个问题，但没有任何结果。法国哲学家、散文家米歇尔·德·蒙田（Michel de Montaigne）写道，这只狗显然得出结论，唯一可能的方案是走中间这条路，这个结论说明狗能够进行抽象思维。

但圣托马斯·阿奎那（St.Thomas Aquinas）在13世纪时提出了完全不同的看法：表面上的抽象思维与真正的思考是两回事。他宣称，我们有可能被智慧的表象所愚弄。

几个世纪后，在约翰·洛克（John Locke）和乔治·伯克莱（George Berkeley）之间，也对动物意识问题作了一次著名的论战。洛克直截了当地说：“禽兽不能抽象。”伯克莱主教的回应是：“如果禽兽不能抽象是动物的本质属性，恐怕很多装成人类的人必须归入它们的行列。”

历史上的哲学家都试图以同一个方法来分析这个问题：把人类意识与狗比较。这是一种人神同体性（拟人论）的错误，或者说是在假设动物的思维和行为与我们一样。也许真正的答案在于从狗的角度看待这个

问题，它与我们很不相同。

在第2章中，我们给出了意识的定义，动物是意识连续统一体中的一部分。在世界模型的构建中，动物所使用的参数可能与我们不同。戴维·伊格尔曼博士说，这被心理学家称为“客观世界”，或者说，由其他动物感知到的真实。他写道：“在壁虱无图像无声音的世界中，要紧的信号是温度和丁酸气味。对于黑鬼鱼来说，是电场。对于依靠回声定位的蝙蝠来说，是压缩的空气波。每种生物体都生活在自己的客观世界中，并把它当作‘外部’客观世界的全部。”

我们来考察一只狗的大脑。它总是围绕着气味谋生，由此寻找食物或配偶。从这些气味中，狗可以绘制一幅有关周围事物的心灵地图。这幅有关气味的地图完全不同于我们由视觉而绘制的地图，传达着完全不同的信息。（第1章中我们提到潘菲尔德博士绘制了一幅大脑皮层地图，展现了这个器官扭曲的自我图像。现在，设想潘菲尔德绘制了一幅狗的大脑图画。其中大部分会与鼻子有关，而非手指。在潘菲尔德的图画中，动物的大脑会完全不同，而宇宙中的外星人很可能会更为奇怪。）

不幸的是，我们总是倾向于把人类意识强加于动物，虽然动物的世界观可能与我们完全不同。例如，当一只狗完全听从主人的命令时，我们会下意识地认为这只狗是人的好朋友，因为它喜欢我们，尊敬我们。但狗是灰狼的后代，狼以群体的方式觅食，有着严格的等级秩序，因此，很有可能这只狗是把你看成了某个种类的阿尔法雄性，即群体的领袖。从某种意义上说，你是狗的头领。（这有可能是狗崽比成犬容易训练的一个原因；让狗崽的大脑认定一个人的存在可能更为容易，而成熟的狗会意识到人类并不属于自己的种群。）

另外，当一只猫进入一个新的房间，在地毯上到处撒尿时，我们会认为这只猫生气了或者很紧张，然后尝试着找出这只猫心烦的原因。但也许它只是用尿的气味划出自己的领地，阻止其他猫进入。所以，这只猫一点都没有心烦，它只是警告其他猫离这个房子远点，因为这个房子属于它。

如果这只猫发出喵喵的声音，在你的腿上蹭来蹭去，我们会认为它在感谢你对它的照顾，这些是亲昵和爱慕的表现。但很可能，它是把自己的荷尔蒙蹭到你身上，标记财产（即是你）的所有权，阻止其他猫的占有。在猫看来，你是一个某种仆人，任务是每天给它提供几次食物。把自己的气味蹭到你身上可以警告其他猫，要它们离这个仆人远一点。

正如16世纪的哲学家米歇尔·德·蒙田所写：“当我与自己的猫玩耍时，我怎么能确定是我陪她玩，而不是她陪我玩呢？”

如果这只猫悄悄走开，选择独自待着，这不一定是愤怒或冷漠的表现。猫的祖先是野猫，与狗不同，它们是孤独的狩猎者，它们当中没有

必须给予尊敬的阿尔法雄性。电视上各种“动物语者”节目的泛滥也许正是我们把人类意识和意图强加于动物所产生问题的反映。

一只蝙蝠的意识也非常不同，它被声音所占据。蝙蝠几乎全盲，它们需要不断发出细微的吱吱声，然后接收反馈信号，这种声呐使它们能够识别出昆虫、障碍物和其他蝙蝠的方位。对我们来说，蝙蝠大脑的潘菲尔德图会完全不同，其中大部分与耳朵有关。同样，海豚也有着与人类不同的意识，它们也以声呐为基础。由于海豚的额叶皮层比较小，人们曾经认为它们并没有那么聪明，但海豚较大的大脑质量弥补了这个不足。展开的海豚大脑新皮层会占据6个杂志页面，而展开的人类大脑新皮层仅占4个杂志页面。海豚还有发达的顶叶皮层和颞叶皮层，可以在水中分析声呐信号，很可能由于这个原因，它也是少数能够在镜子中认出自己的动物之一。

另外，海豚的大脑结构与人类不同，因为海豚和人类的血缘关系大约在9 500万年前开始彼此分离。海豚不需要鼻子，所以它们的嗅球在出生后不久就消失了。但在3 000万年前，它们的听觉皮层出现爆炸式的增长，因为海豚学会了使用回声定位（即声呐）来寻找食物。像蝙蝠一样，它们的世界必须是回旋的回声和振动的一种。与人类相比，海豚的大脑边缘系统中有另外一个叶，称为“旁边缘系统”区域，这可能有助于它们形成坚固的社会关系。

同时，海豚还拥有一种智能化的语言。在科学频道的一个特别电视节目中，我曾经在水池中与海豚一起游泳。我把声呐传感器放入水池中，这些装置能够接收到海豚相互交流时发出的嗒嗒声和哨声。我们记录下这些信号，并用计算机进行分析。有一种简单的方法能够识别出这些随机的吱吱喳喳声背后是否有潜在智能。例如，英语中“e”是最为常用的字母。事实上，我们可以把所有字母列出来，并算出它们各自出现的频率。无论我们用电脑分析的是哪一本英文书，所得的结果都应该近似。

同样，可以用这种计算机程序来分析海豚的语言。我们很确定地找到了指向智能的相似模式。然而，当我们分析其他哺乳动物时，这种模式没能延续，当我们分析仅具有小型大脑的低等动物时，这种模式最终完全消失了。它们的信号已接近随机。

智慧的蜜蜂？

为了理解外星人意识的可能样式，我们可以考察一下生命在地球上的繁衍策略。大自然选择了两种基本的繁衍策略，这对于进化和意识有着深刻的影响。

首先，哺乳动物使用的策略是繁殖少数几个后代，然后小心翼翼地把它们全都抚养长大。这种策略具有风险性，因为每一代只繁衍出几个

后代。这种策略假定抚养会稳定生存的概率。这意味着每个生命都值得珍惜，都需要一段时间的精心抚养。

还有一种更为古老的策略，为许多植物和动物王国所采用，包括昆虫、爬行动物和地球上的大多数其他生命形式。这种策略是生出大量的卵或种子，然后让它们自己谋生。由于缺少抚养，多数后代无法存活，只有少数的坚强的个体能够存活下来。这意味着每代父母所付出的努力为零，物种的繁殖依赖于平均律。

这两种策略下看待生命和智慧的态度截然不同，令人吃惊。第一种策略珍视每一个个体，爱、抚养、情感和情感联系有着重要的地位。这种繁殖策略的成功取决于父母是否会花费大量精力保护自己的后代。相较而言，第二种策略并不珍视个体，而是强调整个物种或整个群体的存活。对于采取这种策略的物种而言，个体毫不重要。

另外，繁殖策略对于智力的进化有着深刻的影响。例如，两个蚂蚁相遇后，它们通过化学气味和身体姿势所传递的信息量是有限的，虽然它们共享的信息少到不能再少，但有了这些信息，它们就能建造复杂的地下通道和房屋，从而建造一个完整的蚁丘。同样，虽然蜜蜂仅仅通过舞蹈相互传递信息，但它们作为整体可以建造复杂的蜂巢并标定遥远花床的位置。所以，它们的智力并不存在于单个个体，而存在于整个群体的互动之中，存在于它们的基因之中。

假设有一种智慧的外星文明，它们建立在第二种策略之上，是一种类似于蜜蜂的智慧生命。在这样的社会中，工蜂每天飞出去寻找花粉，它们是可以牺牲掉的。工蜂不参与繁殖，它们的生命只有一个目的，即为蜂巢和蜂王服务，为了这个目的它们愿意牺牲自己。哺乳动物之间的情感联系对于它们并不重要。

可以假定，这可能会影响它们的太空计划。由于我们珍视每个宇航员的生命，这就要花费大量资源来保证宇航员能够安全返回。太空旅行的一大部分成本会用于维持生命，以保证宇航员能够返航，重新进入大气层。但对于智慧蜜蜂这样的文明来说，工蜂的生命并不重要，所以它们的太空计划不会花费太多。进入太空的工蜂无须返回。每次旅行都可以是单程的，这可以节省巨大的开支。

现在设想，如果我们遇到一个与工蜂类似的外星人。通常情况下，如果我们在森林里遇到一只蜜蜂，很有可能它会完全无视我们，除非我们威胁到它或它的蜂巢。在它眼里，我们似乎根本不存在。同样，这只工蜂也很可能完全没有兴趣与我们发生联系或者分享它的知识。它会继续履行它的任务，无视我们的存在。此外，我们所看重的价值对于它没什么意义。

在20世纪70年代，先驱者10号和11号探测器上携带了两块镀金铝板，上面承载了有关地球和人类社会的关键信息。这两块铝板赞美了地

球生命的多样性和丰富性。那时的科学家认为，宇宙中的外星文明可能与我们相似，对于彼此发生联系感到好奇，抱有兴趣。但如果是这么一只外星工蜂遇到了我们的铝板，很可能不会引起它的注意。

另外，每一只工蜂无须拥有较高的智力。它们的智力水平只要达到服务于蜂巢即可。所以，如果我们把信息传递到智慧蜜蜂的行星上，它们很可能没有什么兴趣做出回应。

即便能够与这样一种文明建立联系，与它们交流也会异常困难。例如，我们彼此交流时，我们会把想法表述为一个个句子，句子有着主谓语结构，这样才能进行叙述，讲述自己的故事。大多数句子有着这样的结构："我做这件事"或"他们做那件事"。事实上，我们的大部分文学和对话都使用讲故事的方式，通常会涵盖我们自己的或我们所塑造的角色的经验和经历。这就预先设定了我们的个人经验是传达信息的主导方式。

然而，一种基于智慧蜜蜂的文明可能对于个体叙述和讲故事没有任何兴趣。由于它们高度集体化，所以它们的信息可能与个体无关，其中很可能包含对于蜂巢来说至关重要的内容，但不包含有助于提升个体社会地位的个体琐事和闲言碎语。事实上，它们可能会觉得我们故事化的语言有些令人反感，因为这种语言把个体的角色放在集体的需要之前了。

同样，工蜂对于时间的感知也会完全不同。因为工蜂是可以牺牲掉的，它们可能不会有较长的寿命，而它们所履行的也只可能是持续较短时间的、有明确定义的任务。

然而，人类的寿命要长得多，我们对于时间也有一种潜在的认识。我们总是从事那些自己能够在一生中看得到其结局的任务和职业。我们在潜意识中规划自己的任务，设计自己与别人的关系，制定自己在有限的一生中要到达成的目标。换言之，我们的生活是分阶段进行的：单身，结婚，抚养子女，最后退休。虽然通常我们并没有意识到这一点，但我们认定自己的生活和最终的死亡都处在一个有限的时间框架内。

但是设想一种能够存活几千年或者永生的生物。它们做事情的优先顺序，它们的目标乃至它们的志向都会截然不同。它们会从事那些一般需要几十代人才能完成的任务。人们通常认为星际旅行只是纯粹的科幻小说，因为正如我们看到的，传统的火箭到达附近的恒星大约需要7万年的时间。对于我们来说，这个长度已无法接受。但对于某一种外星生命形式，这个时间可能不算什么。比如，它们可能会冬眠，或者降低新陈代谢的速度，或者能够生存无限长的时间。

他们长什么模样？

我们对外星人信息的破译，很可能会告诉我们有关这个外星文化和

生活方式的信息。例如，这些外星人可能从捕食者进化而来，仍保留了这种动物的一些特性。（一般来说，地球上的捕食者要比猎物聪明。捕猎的动物，如老虎、狮子、猫、狗，会巧妙地跟踪、伏击猎物，还会隐蔽，这些都需要一定的智力。这些捕食者的眼睛都长在脸的前方，当它们集中注意力时可以形成立体视觉。而猎物的眼睛长在脸的两侧，用于侦察捕食者，它们要做的只是逃跑而已。这就是为什么我们会说“像狐狸一样狡猾”，“笨得像兔子”。）这种外星生命形式可能已经不再拥有它们遥远祖先的许多捕食本能，但在它们的意识中可能还保留着某些捕食者的痕迹（即，领地意识、扩张意识、必要时诉诸暴力的想法）。

考察一下人类物种，我们就会发现至少有三个基本的要素构成了我们进化出智能的基础：

1．对生拇指，使我们可以通过操作工具重塑我们的环境。

2．拥有捕猎者的立体眼睛或者说3D眼睛。

3．语言，使我们可以一代一代地累积知识、文化和智慧。

把这三个要素与动物王国的特征相比较，我们发现，极少有动物能够满足智能的这三个标准。比如猫和狗，它们不会抓取，也没有复杂的语言。章鱼有着精密的触角，但它们的视力很差，也没有复杂的语言。

这三个标准也可能发生变化。外星人也许没有对生拇指，但可能有爪子或触角。（唯一的前提是它们能够用这些附属性的器官制造工具，进而用工具改变周围的环境。）他们的眼睛也许并非两只，可能像昆虫一样有很多只。或者，他们的感觉器官不能识别可见光，但能够识别声音或紫外线。很有可能，他们具备捕食者的立体视觉，因为捕食者一般比猎物拥有更高的智能。也有可能，他们之间的交流不是通过以声音为基础的语言进行，而是采取不同形式的振动。（唯一的要求是，他们能够彼此交流信息，由此建立起一种延续世代的文化。）

但是超过这三个标准，什么事都会发生。

另外，这些外星人的意识可能会受其环境的影响。现在，天文学家意识到，宇宙中生命最丰富的栖息地可能不是沐浴在太阳温暖阳光之下的类地行星，而是围绕着木星大小的行星运行的、距离恒星几十亿英里远的冰卫星。多数人相信，被冰层覆盖的木星的卫星欧罗巴（木卫二），在它冰面以下有液态海洋，由潮汐力提供热量。由于欧罗巴环绕木星运行时会发生翻滚，它会受到木星巨大引力在不同方向上的挤压，引起该卫星内部的摩擦。这种摩擦会产生热量，形成火山和海底火山口，这些热量把冰融化成水，形成液态海洋。据估计，欧罗巴上的海洋十分深，总体积可能是地球海洋体积的很多倍。宇宙中大约50%的恒星可能都有像木星一样大小的行星（比类地行星大100倍的行星更加丰

富），因此生命最丰富的形式可能存在于像木星这样的气体巨星的冰卫星上。

因此，我们在太空中遇到的第一个外星文明很可能来自于水生起源。（另外，他们可能会从卫星的海洋中迁徙出来，学会在远离水下的冰表上生活。这有几个原因。第一，所有一直生活在冰层下的物种对宇宙的认识都相当狭隘。如果他们认为冰盖下的海洋世界就是整个宇宙，它们就不会生发出天文学，也不会有太空计划。第二，由于水会使电器元件短路，如果他们一直待在水下，他们就不会发现无线电，也不会发明电视。文明要前进，就必须掌握电子学，这在海洋中是不可能的。所以，这些外星生物最可能学会离开海洋，并在陆地上生活，就像我们一样。）

但如果这种生命形式进化后创造出航天文明，可以到达地球，这时会发生什么呢？他们还是不是与我们相似的生物有机体，或者，他们会不会到达后生物阶段呢？

后生物时代

有一个人花了很长时间思考这些问题，他是我的同事，亚利桑那州立大学（在凤凰城附近）的保罗·戴维斯（Paul Davies）博士。在我对他的访谈中，他告诉我，我们应该拓展自己的视野，思考比我们先进上千年甚至更长时间的文明会是什么样子。

鉴于太空旅行的危险性，他认为这种生物会放弃他们的生物学形式，这有点像我们在前一章中讨论的没有身体的心灵。他写道："我的结论会令人吃惊。我认为它非常可能，事实上无可避免，生物智能只是一种过渡现象，是宇宙中智能进化的一个短暂阶段。如果我们遇到地外智能，我相信它极有可能是一种后生物形式，这个结论对于搜寻地外文明（SETI）有着明显的和长远深刻的显性影响。"

事实上，如果外星人比我们先进几千年，他们可能很早就告别了生物躯体，构建起最为有效的计算型躯体：整个行星表面完全被计算机覆盖。戴维斯博士说："设想一个被单一的集成处理系统覆盖的行星其实这并不难。……雷·布拉德伯里（Ray Bradbury）创造出了'俄罗斯套娃大脑'（Matrioshka brains）这个词来称呼这种奇妙的东西。"

所以，对于戴维斯博士而言，外星人意识可能没有"自己"这个概念，它们完全融入了集体性的心灵万维网（World Wide Web of Minds）之中，这个互联网覆盖了行星的整个表面。戴维斯博士补充道："没有自我意识的强大计算机网络相较于人类智能有着巨大优势，它能重构'自我'，毫无畏惧地做出改变，并与整个系统合并、成长。'个人化情感'对于它可能是阻碍进步的一大障碍。"

因此，考虑到效率和计算能力的提升，他设想，这个先进文明的成

员会放弃个人身份，融入到集体意识中。

戴维斯博士承认，对他的想法持批判态度的人可能会觉得这个概念令人厌恶。好像这种外星生物是为了集体的或蜂巢的最大利益在牺牲个体的个性和创造力。这并非不可避免，但他提醒道，这是文明最有效的选择。

戴维斯博士还有一个令人沮丧的猜想，他也承认如此。我问他为什么这种文明没有来拜访我们，他的回答很奇怪。他说，所有如此先进的文明都会建立起比现实更为有趣、更富挑战性的虚拟现实。我们今天的虚拟现实对于比我们先进几千年的文明来说，就像儿童的玩具。

这意味着，这种文明中最聪明的心灵也许更愿意在不同的虚拟世界中演出自己的虚拟人生。他承认，这个想法有点让人泄气，但这绝对是一种可能。事实上，在我们不断改进自己的虚拟现实技术时，这也是对我们的一个提醒。

他们想要什么？

在电影《黑客帝国》中，机器接管了世界，它们把人类投入吊舱中，当作给它们提供能量的电池。这是为什么它们仍让我们活着的原因。但由于一座单一的电力工厂所提供的能量比上百万个人体电池一起提供的还要多，那些寻找能量源的外星人会马上看到根本不需要人体电池。（在黑客帝国中，机器领主似乎忽略了这一点，但外星人应该不会。）

另外一种可能性是，他们可能会把我们作为食物。电视剧《阴阳魔界》（The Twilight Zone）中有一集反映了这个主题，降落在地球上的外星人承诺给我们先进的技术，甚至邀请志愿者参观他们的美丽星球。不巧的是这些外星人遗留下了一本叫《服务人》（To Serve Man）（与“上人肉”双关）的书。科学家们焦急地尝试破译这本书，期望分享外星人留给我们的奇异世界。出人意料，科学家们最后发现这本书原来是一本烹饪书。（由于我们的DNA和蛋白质与外星人完全不同，他们的消化器官可能难于消化我们的身体。）

还有一种可能性。外星人可能会掠走地球的资源和宝贵的矿藏。这个说法本身有些道理，但如果这些外星人已经先进到能够毫不费力地进行恒星际旅行，那么就有足够多的无人居住的行星供他们获取资源，而不必为制服那些桀骜不驯的当地人而劳神费力。从他们的角度看，对一个有人居住的行星进行殖民简直是浪费时间，毕竟他们还有更为简单容易的选择。

如果外星人没有把我们当作奴隶的想法，也不会掠夺我们的资源，那么他们会对我们造成什么威胁呢？设想一座森林里的小鹿，它们最怕什么呢？是扛着一支猎枪的凶残猎手，还是手里拿着一叠图纸的温和开

发商？虽然猎手会使小鹿受到惊吓，但真正受到猎手威胁的小鹿只有几只而已。对它们更具威胁的是开发商，因为小鹿根本就不在他的视野范围内。这位开发商可能根本没有考虑到小鹿，一心一意地把森树开发成供我们使用的房产。鉴于此，真正的侵略会是什么样子呢？

好莱坞电影有一个明显的缺陷：外星人仅比我们先进一百年左右，这样我们总是可以设计出秘密武器或找到他们防御中的弱点，将他们击溃，比如电影《飞碟入侵地球》就是如此。搜寻地外文明（SETI）的负责人塞思·肖斯塔克博士又一次告诉我，与先进的外星文明之间的战争将会像小鹿斑比和怪物哥斯拉之间的一场战争。

在现实中，外星人在武器上可能要比我们先进一千年至几百万年。因此，在多数情况下，我们无法保护自己。但我们可以从击败罗马帝国（当时最强大的军事帝国）的野蛮人身上学到一些东西。

罗马人是工程方面的大师，他们制造的武器能把野蛮人的村庄夷为平地，他们修建的道路遍布庞大的帝国，可以为遥远的军事要塞提供补给。而野蛮人则刚刚离开游牧生活，遭遇罗马帝国军队时没有什么胜算。

但历史记载，随着帝国的扩张，它的势力变得异常薄弱，到处都是战斗，无数的条约使它陷入泥潭，同时帝国经济不足以支持这种局面，尤其在人口逐渐减少的情况下更是如此。另外，由于缺少士兵，罗马帝国不得不招募年轻的野蛮人士兵，把他们提拔到领导位置。这样，帝国的先进技术也就无可避免地被野蛮人所接触。随着时间的推移，野蛮人便开始掌握那些最初把他们征服的军事技术。

最后，罗马帝国困于宫廷内斗、粮食贫乏、内战以及超负荷的军队，野蛮人已经能够与罗马帝国军队打成平手。公元410年和455年罗马两次遭受劫掠，这导致整个帝国在公元476年的最终衰亡。

同样，地球人最初可能不会给外星文明带来真正的威胁，但随着时间的推移，地球人会认识到外星人军队的弱点，掌握他们的能量补给系统和指挥系统，当然最重要的是掌握他们的武器技术。要控制人类，这些外星人会招募地球人做合作者，给他们职位。这会导致外星人技术扩散到人类手中。

然后，一支地球人民兵武装会发动反击。东方的军事战略，比如《孙子兵法》中的经典教义，告诉我们以弱胜强的办法。先让他们进入自己的领地。一旦他们进入陌生地域，队伍变得分散，就可以趁其最虚弱时发动反击。

另外一种方法是利用敌人的力量对付敌人。柔道中最主要的策略就是把进攻者的力量转化为自己的优势。让对方进攻，然后借用他的力量绊倒他，或趁其不备将其摔倒。对方越是强壮，他就摔得越重。同样，也许战胜优于自己的外星人军队的唯一方法是先允许他们入侵自己的土

地，然后学习他们的武器和刺探他们的军事机密，然后把这些武器和秘密对准他们自己。

所以，我们无法从正面击败一支先进的外星人军队。但如果他们无法赢得胜利，而僵持局面的代价太过高昂时，他们就会退却。胜利意味着不让敌人取得胜利。

但我认为，外星人很可能是温和的，在多数情况下会忽视我们的存在，因为我们没有什么东西是他们需要的。如果他们拜访我们，这将主要出于好奇或为考察。（好奇心是使我们成为智能生物的关键特征，所以，很可能所有外星生物都具有好奇心，他们渴望分析我们，但不一定要与我们发生联系。）

遇见外星人宇航员

与电影中不同，我们可能不会遇到有血有肉的外星生命。这样太危险而且不必要。我们派出火星漫游车进行探索，同样，他们可能会派出有机的或机械的替身或代理人，这些替代者能更好地应对星际旅行带来的各种压力。这样，我们在白宫草坪上遇见的“外星人”可能与其母星上的主人完全不同。这些主人会通过代理者把意识投入宇宙中。

不过，他们更可能会向月球发射机器人探测器，因为月球的地理情况稳定，没有腐蚀现象。这种探测器可以自我复制，它会建造出一个工厂，然后制造自我复制品，假定这样的复制品有1 000个。（这些探测器被称为冯·诺依曼探测器，以数字计算机奠基人约翰·冯·诺依曼命名。冯·诺依曼是第一个认真研究自我复制机器问题的数学家。）接着，这批第二代探测器可以发射到其他恒星系，在那里再复制出1 000个第三代探测器，总数达到100万个。这些探测器再次铺散开，各自建造工厂，制作出10亿个探测器。从1个探测器，我们得到了1 000个，然后是100万个，然后是10亿个。到第五代，就有1 000万亿个。不久，就会形成一个巨大的球形范围，它以接近光速的速度扩张，包含着上万亿乘以上万亿的探测器，用不到几十万年的时间就能把整个银河系变成它的殖民地。

戴维斯博士非常认真地对待冯·诺依曼自我复制探测器的设想，他还专门申请资金，要探索外星人访问月球表面的痕迹。他想扫描月球，寻找无线电信号或放射性异常，以得到外星人访问的证据，这也许发生在几百万年前。他与罗伯特·瓦格纳（Robert Wagner）博士合作写了一篇论文，发表在科学期刊《宇航学报》（Acta Astronautica）上，他们号召对月球勘测轨道飞行器传回来的照片做精细的分析，分辨率要达到约1.5英尺（**0.46**米）。

他们写道：“虽然外星人科技在月球上留下实物形式的痕迹，或改变月表的地貌，都不太可能，但这个地方的优势是距离较近。”而且，外星

科技的踪迹能够保存很长时间。由于月球上没有腐蚀，外星人留下的踪迹会一直清晰可见（同样，我们的宇航员在20世纪70年代在月球上留下的脚印，在理论上，会保持几十亿年的时间）。

这里的一个问题是，冯·诺依曼探测器可能会非常小。他告诉我，这些纳米级的探测器使用的是分子机器和微电子机械（MEM）设备，因此它们将只有面包盒大小，甚至更小。（事实上，如果这样一个探测器降落到地球上某个人家的后院里，主人很可能会注意不到。）

然而，冯·诺依曼自我复制探测器会呈几何级数增长，这是对银河系殖民最有效的方法。（这也是病毒感染人体的方法。开始时，少数几个病毒入侵我们的细胞，劫持了细胞的复制机制，细胞变成了制造更多病毒的工厂。在两个星期之内，单个病毒就能感染上万亿个细胞，最后导致我们打喷嚏。）

如果这种设定是正确的，这就意味着月球是外星文明最可能拜访的地方。这也是电影《2001：太空遨游》的基本假定，这部电影展现了我们与地外文明接触最可能的场景，直到今天仍然如此。在这部电影中，外星人于几百万年前在月球上放置了探测器，主要用于观察地球上生命的进化。有时，这个探测器会介入我们的进化过程，为我们提供额外的进化动力。探测器所收集的信息被传送到木星上，那里有一个中继站，最后送达这个远古外星文明的母星。

这个先进的文明可以同时扫描几十亿个星系，由此我们可以看到他们关于要在哪个星系进行殖民的问题，有着巨大的选择空间。鉴于银河系的浩瀚，他们可能会收集数据，然后比较出哪些行星和卫星能提供最好的资源。从他们的角度看，地球可能没有太大的吸引力。

15 结 语

未来的帝国将是心灵的帝国。

——温斯顿·丘吉尔（**Winston Churchill**）

如果我们不加思辨、不加审慎地发展科技，我们的仆人会成为我们的刽子手。

——奥马尔·布拉德利（**Omar Bradley**）将军

2000年科学界爆发了一场激烈的争论。太阳计算机公司的创始人之一比尔·乔伊（Bill Joy）发表了一篇火药味十足的文章，公开抨击高科技给我们带来的致命威胁。在这篇发表在《连线》杂志上题为“未来不需要我们”（The Future Does Not Need Us）的文章中，他写道：“21世纪，我们拥有最为强大的科技——机器人、基因工程和纳米技术——都有使我们成为濒危动物的可能。”这篇极富争议的文章对成百上千个科学家的道德提出了质疑，这些人都在实验室中专注地从事着科学前沿的辛勤工作。他质疑这些研究的核心，认为这些科技给我们带来的福祉完全不及它们对人类的巨大威胁。

他描述了一个死寂的反面乌托邦社会，科技毁灭了文明。他提出警告，有三个发明会最终向我们调转枪口：

· 有一天，生物工程细菌可能会逃逸实验室，给世界带来混乱。因为我们无法重新捕获这种生命形式，它们会肆无忌惮地扩散，给这个星球带来致命的瘟疫，这会比中世纪时期更严重。生物科技甚至会改变人类的进化，制造出“几种没有平等权利的异类……这会破坏平等的概念，而平等是我们这个民主世界的基石”。

· 有一天，纳米机器人可能会突然暴怒，喷出无法限量的“灰色黏液”覆盖在整个地球表面，淹没所有生命。由于这些纳米机器人“消化”普通物质，制造出新的物质形式，所以，出现故障的纳米机器人可能会异常狂暴，吞噬地球。他写道：“灰色黏液肯定是人类在这个地球上冒险造成的令人沮丧的结局，这比火海和冰川要糟糕得多，而它却源于一个小小的实验室事故。”

· 有一天，机器人会接管世界，取代人类。它们的智能如此之发达，简简单单就把人类赶下台。我们则沦为进化的脚注。他写道：“无论怎样理解，机器人也不是我们的孩子……在这条路上，我们人类很可能

会迷失。”

乔伊宣称，与这三种科技带来的危险相比，20世纪40年代原子弹带来的危险就显得很渺小。那时，爱因斯坦对核力量毁灭文明的可能性发出了警告：“这个事实令人恐惧，但明白无误，科技已经超越了人类的力量。”乔伊指出，建造原子弹是一个庞大的政府项目，可以进行严格的管控，而上述科技由私人企业主导，如果说有管控的话，这种管控也相当宽松。

他承认，这些科技可能会在短期减少某些痛苦。但从长远来看，这些好处都会被它们带来的科学浩劫所吞没，这场浩劫将毁灭人类。

乔伊甚至批评科学家们推动社会进步的努力，说他们自私、幼稚。他写道：“传统的乌托邦意味着好的社会，好的生活。好的生活包括其他人。而这个科技乌托邦里的所有内容都是‘我不得病；我长生不老；我要有更好的视力和更聪明的头脑’，如此种种。如果你把这么一个情况告诉给苏格拉底或柏拉图，他们会取笑你的。”

他在文章结尾处写道：“我们正处在使极端的邪恶趋于完善的边缘，我认为这个说法并不夸张。这种邪恶的可能性完全超越了民族国家遭受大规模杀伤性武器袭击的可能性……”

这些论述的结论是什么呢？他的回答是：“大约是灭绝吧。”

不出所料，这篇文章激起了争论的风暴。

这篇文章写在10多年前。对于高科技而言，这是个很长的时间。现在我们可以以某种后见之明来看待这些预测。回顾这篇文章，全面地审视比尔·乔伊的警告，我们很容易发现他夸大了某些来自科技的威胁，同时他也促使科学家面对研究工作中的伦理、道德和社会问题，这总是好的。

另外，这篇文章还引发了“我们是谁”的讨论。在揭开了大脑分子、基因和神经奥秘的过程中，我们是否把大脑当作一个装满原子和神经元的容器，把人非人化了呢？如果我们完全绘制出大脑神经元的结构图，能够跟踪每一条神经通路，这是否就去除了我们自己的神秘性和魔力呢？

对比尔·乔伊的回应

现在看来，来自于机器人科技和纳米科技的威胁距我们要比比尔·乔伊所设想的遥远。我认为在足够警惕的前提下，我们可以采取多种预防措施，如阻断某些研究通道，防止它们生产出不受控制的机器人；在机器人中放置可以关闭它们的芯片，防止它们造成危险；设计保险装置，

可以在紧急情况下使所有机器人停止运行。

但来自于生物科技的威胁却十分紧迫，生物微生物（biogerms）从实验室逃逸出去的危险真实存在。事实上，雷·库兹韦尔和比尔·乔伊曾经撰写过文章，批评公开发布1918年西班牙流感病毒的完整基因图谱。这种病毒是历史上最为致命的细菌之一，死于该病毒的人比第一次世界大战中死亡的人数还要多。科学家通过检验死者的尸体和血液把早已死亡的病毒重新组合起来，绘制了该病毒的基因序列，然后在网上发布出来。

目前对于这种危险病毒的发布已经有了防范机制，但仍须进一步加强，并增添新的安全措施。具体而言，如果某种新的病毒在地球的某个偏僻角落突然爆发，科学家必须组织起快速响应团队，在自然中把它提取出来，绘制出其基因序列，然后迅速研制疫苗，防止其扩散。

对心灵未来的意义

这场争论对于心灵的未来有着直接影响。目前，神经科学仍处在很原始的阶段。科学家能够做到的是，读取和录制活体大脑的简单思想，记录少量记忆，把机械手臂连接在大脑上，使闭锁综合征（locked-in syndrome）患者控制周围的机器，通过磁场关闭大脑特定区域以及识别出精神疾病中出现故障的大脑区域。

然而，在未来几十年神经科学的能力可能会爆发。当前的研究已经到了新的科学发现的门槛前，这些发现可能会让我们瞠目结舌。将来有一天，我们也许会完全习惯于用心灵的力量控制周围的物体，我们将下载记忆，治愈精神疾病，提升智能，掌握大脑的每个神经元，制造出大脑备份副本，还将通过心灵感应彼此交流。未来的世界将是心灵的世界。

比尔·乔伊并不怀疑科技有着可以解除人类痛苦的潜力。但使他感到恐惧的是由科技武装起来的个人可能会使人类这个物种分崩离析。在这篇文章中，他描述了一个阴暗的反面乌托邦社会，这个社会中只有极少数的精英拥有被科技武装的智能和神经，大众则生活在无知和贫穷之中。他担心人类会裂变为两个物种，或许，人类已经不是人类。

但我们曾经谈到，几乎所有科技刚出现时都十分昂贵，因此只有富人才能享用。由于大工业生产，计算机成本下降以及竞争因素和运输费用的下降，科技无可避免地渗透到穷人阶层。这也是留声机、半导体、电视、个人电脑、笔记本电脑和手机走过的发展路程。

科学并没有制造出一个区分富人和穷人的世界，它已经成为促进繁荣的发动机。有史以来人类所掌握的所有工具中，力量最为强大的、最具产出性的就是科学。我们周围不可思议的财富都直接源于科学。科技降低社会断层，而非加剧社会差距，要理解这一点，看看我们的先辈们

在1900年左右的生活吧。那时，美国的平均寿命是49岁，很多新生儿死在襁褓之中；与邻居聊天要从窗户往外大声呼喊；信件由骑马寄送，能不能送到还成问题；药物基本上只有蛇油；起作用的治疗方法事实上只有截肢（而且是在没有麻醉的情况下）和缓解疼痛的吗啡；食物在几天内就会腐烂；下水道系统根本不存在；疾病是永恒的威胁；经济仅仅支撑着少数富人和人口很少的中产阶级。

科技改变了这一切。我们不再通过打猎获取食物，只要走入超市就可以了。我们不再扛着重重的生活用品，只要把购买的东西放进车里就行了。（事实上，来自科技的威胁造成了上百万人死亡，但这不是杀人机器人或狂暴的纳米机器人，而是我们放纵的生活方式。由此造成的糖尿病、肥胖症、心脏病、癌症等疾病已经到了几乎蔓延的程度。而这个问题是我们自己造成的。）

上述种种福利在全球范围内也是如此。在过去的几十年里，这个世界见证了数千万人在历史上第一次走出悲惨的贫困境地。在这个大图景中，我们看到人类中有一大部分离开了繁重的农耕生活方式，进入了中产阶级的队伍。

西方国家用了几百年进行工业化，而中国和印度只要用几十年，这些都归功于高科技的传播。有了无线科技和互联网，这些国家可以跳跃式前进，超越其他的更发达国家，那些曾用繁重的劳动铺设的城市。当西方为那些老化的、破旧的城市基础设施绞尽脑汁时，发展中国家正在用耀眼的先进科技建设一座又一座城市。

（当我还是博士生时，中国和印度的博士生收到科学杂志要等上几个月或一年。另外，他们与西方的科学家和工程师几乎没有直接联系，因为仅有少数能够有钱走出国门。这严重地阻碍了科技的传播，这些国家的科技发展也极其缓慢。今天，只要把论文放到互联网上，科学家就能阅读彼此的文章。他们还可以通过网络与全世界的科学家合作。这极大加快了信息的传播。随着科技而来的是进步和繁荣。）

另外，我们并不能确定地说，拥有了某种增强型的智能就一定会造成人类分裂的灾难，即使有很多人无力承担相关费用而不能享用这个技术。在很大程度上，解决复杂数学方程的能力和完美的记忆力都并不是高收入的保证，也不是获得同行肯定、赢得异性倾心的保证，而这些是推动多数人的动机。洞穴人原理会战胜大脑能力的提升。

正如迈克尔·加扎尼加（Michael Gazzaniga）博士所言：“胡乱摆弄我们自己的内脏，这个想法会使很多人感到不安。而我们可以用增强型智能干些什么呢？我们是用它来解决问题，还是列出更长的圣诞贺卡寄送人名单……？”

不过我们在第5章讨论过，失业工人可能会从这项技术中获益，因为它可以大大降低掌握新技术和新技能的时间。这不仅会减少失业带来

的问题，还会影响到世界经济，使其更为有效，对形势的改变可以做出快速反应。

智慧与民主的论辩

针对乔伊的文章，一些批评人士指出，这场论战的主题与文章中的描述不同，并不是科学家与大自然之间的较量。这里事实上涉及到三个方面：科学家、大自然和社会。

在对这篇文章的回应中，计算机科学家约翰·布朗（John Brown）博士和保罗·杜奎德（Paul Duguid）博士说："技术，比如火药、印刷机、铁路、电报和互联网，可以深刻地改变社会。但另一方面，社会体系，如政府、法庭、正式组织和非正式组织、社会运动、职业圈、地方社区、市场机构等，也会塑造或减弱技术的力量，或使其改变方向。"

重要的是要从社会的角度分析技术，我们最终须采取一种融合所有美好想法的新的未来愿景。

对于我来说，这种智慧的终极来源是严密的民主辩论。在未来几十年中，公众会对很多重要的科学问题投票做出选择。技术的问题不能在真空中进行辩论。

哲学问题

最后，一些批评人士宣称，科学揭示心灵奥秘的脚步走得太远了，这种揭示本身已经非人化，失去了人格。如果一切心理都能解释为几个神经递质激活了几个神经回路，那我们为什么还要为发现某些新事物、学得新技能或者享受悠闲假期而欢呼雀跃呢？

换句话说，就像天文学把我们解释为在冷漠的宇宙中飘浮的无关紧要的宇宙尘埃一样，神经科学把我们解释为在神经回路中循环的电信号。但这是真的吗？

我们的讨论始于科学中两个最大的谜：心灵和宇宙。它们不仅有着相同的历史和叙事，而且有着相同的哲学和视角，甚至是相同的命运。科学，以其窥视黑洞和拜访遥远星球的力量，催生了两个涵盖心灵和大脑的基本哲学：哥白尼原理和人择原理。科学中的所有事情都可以归结为这两个哲学，但它们本身却截然相反。

第一个哲学，哥白尼原理，随着天文望远镜的发明于400年前诞生。这个原理是，人类没有特殊性。这个看似简单的观念推翻了几千年来被珍视的神话以及深深扎根其中的哲学。

自亚当和夏娃因偷吃智慧之果而被逐出伊甸园的圣经故事起，人类

已经多次颜面扫地，从神坛上被拉下来。首先，伽利略的天文望远镜清楚地显示，地球并不是太阳系的中心，太阳才是。接着，这个看法也被推翻，人们发现太阳系仅仅是银河系中的一个点而已，它围绕着3万光年远的银河系中心运行。其次，20世纪20年代，埃德温·哈勃（Edwin Hubble）发现银河也不止一个。突然间，宇宙增大了好几十亿倍。现在，哈勃太空望远镜告诉我们，在可见的宇宙中有1 000亿个星系。我们只是这个庞大的宇宙舞台上针尖大小的东西。

最近的宇宙理论进一步降低了人类在宇宙中的位置。宇宙膨胀理论认为，拥有1 000亿个星系的可见宇宙也只是在膨胀中的更大宇宙的一个点，它大到很多光还未从遥远的地方传到我们这里。宇宙中有大片区域，我们的望远镜根本无法看到，我们也不可能去拜访，因为我们的速度不可能超过光速。如果弦理论（我的专长）是正确的，这就意味着整个宇宙也不是唯一的，它与11维超空间中的其他宇宙共存。所以，三维空间也不是宇宙的尽头。物理现象的真正舞台是由多个宇宙组成的多元宇宙，其中布满了飘浮着的气泡般的宇宙。

科幻小说作家道格拉斯·亚当斯（Douglas Adams）在《银河漫游指南》（The Hitchhiker’s Guide to the Galaxy）中发明了一种“完全视角漩涡”（Total Perspective Vortex）来概括这种不断被推翻的感觉。这种漩涡可以把任何神志清醒的人逼疯。你进入一个房间，你能看到的是一幅巨大的完整的宇宙地图，在这幅地图上有一个微小到几乎看不清楚的箭头，上面写着：“你在这里。”

所以，哥白尼原理指出，人类不过是在星球之间漫无目的游荡的宇宙碎片。这是一个方面。另一方面，所有新近发现的宇宙数据都可以用另外一个理论来解释，它告诉我们完全相反的哲学：人择原理。

这个理论认为，宇宙与生命相融合。同样，这个简单的观念也有着深刻的含义。一方面，宇宙中存在生命是不容争辩的事实。但宇宙的各种力量只有精确到令人吃惊的程度才能使生命的出现成为可能。物理学家弗里曼·戴森（Freeman Dyson）曾经说过：“宇宙似乎知道我们的到来。”

比如，如果太阳的核力比现在强一点点，那么它就会在几十亿年前燃烧尽了，DNA就没有进化发展的时间。如果太阳的核力比现在弱一点点，那么它一开始就不会燃烧，我们也不可能出现在地球上。

同样，如果引力比现在大一些，宇宙在几十亿年前就会发生坍塌进入大挤压阶段，我们都会在超高的温度下死去。如果引力比现在小一些，宇宙的膨胀速度将会加快直至到达大冻结阶段，我们都会被冻死。

这种精确性也适用于身体中的每一个原子。物理学认为，我们由恒星尘埃构成，我们周围的原子都是在炽热的恒星中铸成的。严格来说，我们是恒星的孩子。

但构成人体高阶元素的氢核反应十分复杂，在所有节点上都可能偏离轨道。如果发生偏离，我们体内的高阶元素就不可能形成，DNA和生命所涉及的原子可能根本就不存在。

换言之，生命是宝贵的，生命就是奇迹。

这个过程需要准确设定的参数有很多，这使得一些人认为这一切并不是巧合。弱人择原理的解释认为，生命的存在本身精确定义了宇宙中的物理参数。强人择原理的解释则更进一步，认为是上帝或某种设计者造就了宇宙，使之“恰好”让生命成为可能。

哲学与神经科学

哥白尼原理和人择原理之间的争论也在神经科学中有所体现。例如，有人认为人类可以还原为原子、分子和神经元，因此人类在宇宙中并没有特殊的地位。

戴维·伊格尔曼博士写道：“除非我们大脑中所有元件和零件都处在恰好的位置上，否则所有朋友都熟知和喜爱的那个‘你’不可能存在。如果你不相信这一点，那么请到任何一家医院的神经科去看一看。大脑哪怕只有一小部分受到损伤，都可能令人吃惊地造成我们特定能力的丧失，比如给动物取名的能力、听音乐的能力、管理风险行为的能力、分辨颜色的能力、做出简单决策的能力等。”

如果没有“元件和零件”，大脑似乎无法工作。他最后说：“我们的现实取决于我们有怎样的生物机体。”

如果我们的身体可以还原为（生物性的）螺母和螺栓，我们在宇宙中所处的地位就显得更加微不足道。我们只是一种“湿件”，运行着被称为心灵的软件，除此之外别无他义。我们的思想、欲望、期待和抱负都能解释为在前额叶皮层的某个区域中运行的电脉冲。这就是哥白尼原理视角下的人类心灵。

但人择原理也可以应用到人的心灵上，这样我们就会得到完全相反的结论。这个结论会说，是宇宙的条件使得意识的出现成为可能，虽然从偶然事件中造就心灵是一件十分困难的事。维多利亚时期伟大的生物学家托马斯·赫胥黎（Thomas　Huxley）说：“刺激性的神经组织如何生成一种让人惊奇的意识状态，这与阿拉丁摩擦神灯如何能召唤出灯神一样无法解释。”

另外，多数天文学家都相信我们有一天会在其他行星上找到生命，但这种生命很可能是微生物形式，这种生命形式统治了我们地球海洋几十亿年。我们碰到的可能不是巨大的城市和帝国，而是漂浮着微生物的海洋。

在我对已故的哈佛大学生物学家斯蒂芬·杰伊·古尔德（Stephen Jay Gould）的访问中，我问及这个问题，他作出了这样的解释。如果我们用某种方法创造了另外一个地球，它与45亿年前的地球完全相同，在45亿年之后这个地球会不会还与我们的一样呢？很可能不会。很有可能DNA和生命根本不会起步，更可能的是，拥有意识的智能生命不会从沼泽中走出来。

古尔德写道："智人是［生命之树上的］一个小树杈……但这根树杈，无论好坏，都已经在自寒武纪爆发（5亿年前）开始的多细胞生命的历程中发展出全新的属性。我们发明了意识，它给我们带来了哈姆雷特，也给我们带来了轰炸广岛的原子弹。"

事实上，在地球的历史中智慧生命有很多次几乎灭绝。除了使恐龙和多数生命完全覆灭的大灭绝外，人类还有几次濒临灭绝的经历。例如，人类在所有基因上的联系十分紧密，比属于同一物种的两个典型动物要紧密得多。人类虽然从外表上看来千差万别，但我们的基因和内部化学过程却并非如此。事实上，人与人之间的基因如此紧密相连，我们可以算出"基因上的夏娃"或"基因上的亚当"在什么时候孕育了整个人类。此外，我们还能算出整个历史中共存在多少人。

这些数字令人惊叹。遗传学表明，在7万年至10万年前，地球上只有几百人到几千个人，是他们孕育了整个人类。（有一种理论认为，大约7万年前位于印度尼西亚的多巴火山发生大爆发，使得温度骤降，多数人随后死去，只留下少数。）由这一小群人繁衍出那些最后占据整个地球的冒险者、探险者。

在地球的历史中，智慧生命似乎多次走到尽头，我们能够存活实在是一个奇迹。我们可以说，虽然其他行星上可能存在生命，但有意识的生命只可能出现在少数几个星球上。因此，我们应该珍惜地球上出现的意识，它是宇宙中已知的最复杂的形式，很可能也是最稀有的。

在考虑人类未来的命运时，我有时会想到人类自我灭绝的可能性。虽然火山爆发、地震都可能对人类宣判死刑，但我们最大的恐惧却来自于人造的灾难，如核战争或生物工程细菌。如果这真的发生，那么也许银河系中存在的唯一有意识的生命形式会遭到灭绝。我觉得，这不仅会是我们的悲剧，也是整个宇宙的悲剧。我们想当然地认为自己拥有意识，我们并不理解生物事件使意识出现所经历的漫长的曲折的过程。心理学家史蒂文·平克写道："我认为，意识在每个时刻上的展现都是宝贵而脆弱的恩赐，没有比意识到这一点更能给生命以意义的了。"

奇迹般的意识

最后，有一种对科学的批判，认为理解某个事物就剥去它的神秘，科学通过揭开心灵的神秘面纱，也同样使它变得更为普通，更为世俗

了。然而，我对大脑复杂性的了解越是深入，就越感到惊讶，我们肩膀上的东西是这个宇宙中已知的最复杂的物体。正如戴维·伊格尔曼博士所言：“大脑是多么令人迷惑的杰作啊，而我们又是多么幸运能够生活在这个时代，有科技和意愿去研究大脑。这是我们在宇宙中发现的最神奇的东西，这就是我们自己。”了解大脑非但不会降低它的神奇，而且会提升我们的惊奇感。

两千多年前，苏格拉底说：“了解你自己是智慧的开始。”我们正走在实现他的愿望的漫漫长路上。

附　录

量子意识？

虽然大脑扫描技术以及其他高技术取得了巨大的进步，一些人仍认为我们不可能理解意识的奥秘，因为意识超越了我们微不足道的技术。事实上，在他们看来，意识是比原子、分子和神经元更为基本的存在，决定了真实世界的属性。对于他们而言，意识是一种基本实体，物质世界来源于此。为了证明这一点，他们援引了科学上最大的悖论之一，薛定谔的猫悖论，来挑战我们对真实的定义。即便今天，人们在这个问题上也没有达成共识，诺贝尔奖获得者也有着不同的看法。这甚至关系到真实和思想的本质。

薛定谔的猫悖论关系到整个量子力学的基础，正是这个领域的研究使激光、磁共振成像扫描、无线电和电视、现代电子学、GPS系统和电信的出现成为可能，而在此之上才有了整个世界经济。量子理论中的很多预测都得到检验，精度高达一千亿分之一。

我的整个职业生涯都致力于量子理论的研究。但我发现这个理论有致命的弱点。我一生的努力都放在这个理论上，而它的基础却是一个悖论，这让我不安。

这场争论始于奥地利物理学家埃尔温·薛定谔（Erwin Schrödinger），他是量子理论的奠基人之一。他试图对电子似乎既表现出波动性，又表现出粒子性的奇怪现象做出解释。电子这种点粒子怎么会有两种不同的行为表现呢？电子的行为有时像粒子，在云室中留下清晰的运动轨迹，但它的行为有时又接近波，在通过微小孔洞时会出现波状干涉图形，就像池水表面的波动一样。

1925年，薛定谔提出了著名的波动方程，称为薛定谔方程，这是历史上最重要的方程之一。这个方程立即引起了轰动，为他赢得了1933年的诺贝尔奖。薛定谔方程准确地描述了电子的波动性，解释了氢原子的奇特属性。神奇的是，这个方程可以应用到所有原子，能够解释元素周期表中的多数特征。似乎所有化学现象（所以也包括所有生物学现象）都仅仅是这个波动方程的解而已。一些物理学家甚至宣称，整个宇宙，包括所有恒星、行星以及我们人类，都只是这个方程的一个解。

但之后物理学家们提出了一个至今还在回响的难题：如果电子能够用波动方程来解释，那么发生波动的是什么呢？

1927年，维尔纳·海森堡（Werner Heisenberg）提出了一个新原

理，这使得物理学界发生了分裂。海森堡著名的测不准原理认为，我们不能同时准确地测定一个电子的位置和动量。这种不确定性并非源自测量设备的粗糙，而是物理学本身的内在属性，即使上帝或者其他神灵也不清楚一个电子的准确位置和动量。

所以，薛定谔的波动方程事实上是描述了找到电子的概率。科学家努力了几千年，要把偶然性和概率从理论中剔除出去，但现在海森堡却由一个后门又把这些概念带回来了。

可以这样总结这种新哲学：电子是一个点粒子，但标定它的概率却由波动性决定。这种波动性符合薛定谔方程，又引发了测不准原理。

物理学界发生了分裂。站在一方的是像尼尔斯·玻尔（Niels Bohr）和维尔纳·海森堡这样的物理学家以及多数原子物理学家，他们欣然接受这种新的理解。当时，他们几乎每天都会宣布在对物质属性的认识方面做出了新突破。诺贝尔奖一次又一次地颁发给量子物理学家，就像奥斯卡奖一样。量子力学成了像烹饪书一样的东西，要作出重要的贡献，你不必成为物理学大师，只要按照量子力学给出的食谱，就能做出令人惊叹的突破。

站在另一方的是阿尔伯特·爱因斯坦、埃尔温·薛定谔和路易斯·德布罗意（Louis de Broglie）这些诺贝尔奖得主，他们提出了哲学性的反驳。这一切的开始虽然与薛定谔有关，但他抱怨说，如果他知道自己的方程会把概率引入物理学，他一开始就不会建立这样的方程。

物理学家开始了长达8年的争论，甚至今天这个争论仍在继续。爱因斯坦宣称："上帝不会与世界掷骰子"， 据报道说尼尔斯·玻尔作了这样的回答："别说上帝应该做什么。"

1935年，为了一劳永逸地摧毁量子物理学家，薛定谔提出了著名的猫问题。把一只猫和一个放有毒气的容器一同放进一个密封的盒子。盒子里有一块铀。铀原子本身不稳定，能够放射出粒子，这种粒子可以由盖革计数器检测到。计数器可以启动一只锤子，它落下来会打碎容器，释放出毒气，杀死这只猫。

怎样来描述这只猫呢？一位量子物理学家会说，铀原子具有波动性，它可能衰变，也可能不衰变。所以，要把两个波叠加起来。如果铀发生释放，那么猫死去，这用一个波来描述；如果铀不发生释放，那么猫活着，这用另一个波来描述。要描述这只猫，就要把一只死猫的波和一只活猫的波叠加起来。

这意味着这只猫要么死亡，要么活着！这只猫似乎生活在阴阳两界，处在生和死之间，是一个描述死猫的波和一个描述活猫的波的总和。

这就是问题的核心，在物理学的世界里已经回响了将近一个世纪。

怎样解决这个悖论呢？至少有三种方法（以及在此之上的几百种变化）。

第一种方法是由玻尔和海森堡提出的最原始的哥本哈根解释，这个解释被全世界的教科书广泛采纳。（这是我在讲授量子力学时最先讲解的一种解释。）这种解释认为，要确定猫的状态，必须打开盒子，进行测量。这只猫的波（即一只死猫和一只活猫的波的叠加）现在“坍塌”为一个波，这样，我们就知道这只猫还活着（或是死了）。也就是说，观察本身决定了这只猫的存在及其状态。是测量的过程使两个波神奇地化解为一个单一的波。

爱因斯坦不认同这个观点。几个世纪以来，科学家们一直在与“唯我论”或“主观唯心主义”作斗争，这些观点认为，如果没有人在观察，物体根本不会存在。只有心灵是真实的！物质世界只是作为心灵中的理念而存在。因此，唯我论者（比如乔治·伯克莱［George Berkeley］主教）会说，如果森林中的一棵树倒下了，但没有人观察到它，那么这棵树可能根本没倒。爱因斯坦认为，这些思想都是胡言乱语，他针锋相对地提出了“客观真实性”理论，认为宇宙的存在是唯一的、确定的，与人类的观察无关。这是多数人的常识性观点。

客观真实性的看法可以追溯到艾萨克·牛顿。在这个观点中，原子和亚原子微粒就像极小的钢球一样，它们存在于空间-时间中确定的点上。确定这些钢球的位置时不会出现不确定性或偶然性，它们的运动由运动规律决定。客观真实性在描述行星、恒星和星系的运动方面取得了巨大的成功。利用相对论，这一观点还能描述黑洞和宇宙的膨胀。但有一个领域，这个观点却失败了，那就是在原子内部。

像牛顿和爱因斯坦这样的经典物理学家认为，客观真实性最终会把唯我论从物理学中驱赶走。专栏作家沃尔特·李普曼（Walter Lippmann）用如下话语作了总结：“有一种信仰认为……星球和原子运行的动力取决于人类的选择，而现代科学的最具创新之处恰恰在于抛弃这种信仰。”

但量子力学又把一种新的唯我论重新引入到物理学中。在这个图景中，一棵树在受到观察之前能够以任何可能的状态存在（如，幼苗、烧焦、锯末、牙签、腐烂）。但当你观察它时，这个波突然发生坍塌，它呈现出一棵树的模样。原始的唯我论者只谈论一棵树是否倒下，而新的量子唯我论者则引入了这棵树的“所有”可能状态。

这对于爱因斯坦是无法接受的。他会问到访的客人：“月亮的存在是因为有一只老鼠在看它吗？”而对于一个量子物理学家，在某种意义上，这个问题的答案可能是“是的”。

爱因斯坦和他的同事们会用这个问题挑战玻尔：量子微观世界（一只猫可以同时死去和活着）怎样与我们看到的常识世界共存？答案是，

在我们的世界和原子世界之间有一道“墙”。墙的一边，常识统治一切；墙的另一边，量子理论统治一切。如果你愿意，你可以移动这道墙，但结果仍是一样。

这种解释不管有多么奇怪，已经被量子物理学家讲授了80年。最近，人们对哥本哈根解释提出了质疑。今天我们拥有纳米科技，可以随意地操控单个原子。在扫描隧道显微镜的屏幕上，原子看起来像一个影像模糊的网球。（为了参加英国广播公司的一档电视节目，我有机会飞到IBM位于加利福尼亚州圣何塞市的阿尔马登实验室，在那里我真的用一个微小的探针拨动了单个原子。现在，我们可以操纵原子，而之前人们认为原子太小，根本无法看到它。）

我们之前讨论过，硅的世纪慢慢地走到了尽头，而一些人认为分子晶体管可以取代硅晶体管。如果这样，量子理论的悖论会出现在所有未来的计算机上。世界经济最终可能会取决于这种悖论。

宇宙意识和多元宇宙

猫悖论还有另外两种解释，这两种解释把我们带入到所有学科的最神秘地带：上帝和多元宇宙。

1967年，量子力学和原子弹的奠基人，诺贝尔奖获得者尤金·维格纳（Eugene Wigner）提出了对猫问题的第二种解释。他说，只有一个有意识的人所进行的观察能够坍塌波函数。但是，又是谁来决定这个人存在呢？我们不能把观察者与观察对象区分开，所以这个人可能也是既活着又死去。换句话说，必须有一个新的波函数，能够将猫和观察者都纳入其中。要确定一个观察者活着，那就需要第二个观察者对其进行观察。这第二个观察者被称为“维格纳的朋友”，这个人对第一个观察者的观察是必要的，这样所有的波才能坍塌。但我们怎样确定第二个观察者也活着呢？需要把他纳入更大的波函数才能确定，这一切可以无限地持续下去。由于我们需要无限多个“朋友”来坍塌之前的波函数，从而确定他们都活着，这就意味着存在某种形式的“宇宙意识”，或者说，上帝。

维格纳总结道：“如果不提及意识，就不可能得出完全相容的（量子理论）定律。”在他生命的最后时刻，他甚至对印度教中的吠檀多哲学发生了兴趣。

在这种理论中，上帝或者某种永恒的意识观察我们所有人，使我们的波函数坍塌，这样我们就能确定自己活着。这种解释带来与哥本哈根解释相同的物理效果，所以它无法被反证。但这就意味着意识是宇宙中的基本实体，处于比原子还要基本的地位。物质世界可能不断变化，而意识总是一种定义性的元素，即意识在某种意义上创造了真实。我们周围原子的存在本身取决于我们能够看到它们、触摸它们。

（现在，有必要注意到，一些人认为因为意识决定存在，所以意识

可以控制存在，也许用冥想的方式就能做到。他们认为，我们可以按自己的愿望创造真实世界。这种想法虽然听起来很有诱惑力，但却与量子力学相悖。在量子物理中，意识进行观察，从而决定真实世界的状态，但意识并不能事先选择出哪种真实状态会真的存在。量子力学只能确定某一种状态的可能性，我们并不能任意地改变事实。例如，赌博时，可以从数学上算出得到一副同花顺的概率，但这并不意味着你能用某种方式控制牌面而得到同花顺。我们不能选择宇宙，这与我们无法控制盒子里的这只猫是生或是死一样。）

多元宇宙

解决这个悖论的第三种方法是埃弗里特解释，或称多重世界解释。这个解释由休·埃弗里特（Hugh Everett）在1957年提出。这是所有理论中最奇怪的一个，它认为宇宙不停地分裂为包含多个宇宙的多元宇宙。在其中一个宇宙中，我们有一只死猫。在另外一个宇宙中，我们有一只活猫。可以这样总结这种解释：波函数不会坍塌，它们只是分裂开。埃弗里特多重世界理论与哥本哈根解释的不同之处仅在于它放弃了最后的假设，即波函数的坍塌。在某种意义上，这是对量子力学最简单的表述，但也是最令人不安的一种表述。

第三种解释有着深刻的含义。它意味着所有可能的宇宙都可能存在，即使那些很奇异的、看起来非常不可能的宇宙也会存在。（不过，宇宙越是奇异，它出现的概率就越低。）

这意味着在我们的宇宙中去世的人，在另外一个宇宙中还活着。而这些人会坚持说自己的宇宙才是真实的，而我们的宇宙（在这里他们都去世了）是假的。如果这些死人的“鬼魂”仍生活在某处，那为什么我们不会遇到他们呢？为什么我们不能与这些平行的世界发生联系？（虽然听起来很奇怪，但在这种解释中，猫王埃尔维斯仍然活在某个宇宙中。）

另外，在这些宇宙中，有的会死寂一片，没有任何生命，但另外一些会与我们的宇宙几乎完全相同，仅在某个关键点上表现出差异。比如单根宇宙射线碰撞这种微小的量子事件。如果这条宇宙射线穿过了阿道夫·希特勒的妈妈身体，造成还是胎儿的希特勒流产，会怎么样呢？因此，一个微小的量子事件，单根宇宙射线的碰撞，就能把宇宙分成两个。在一个宇宙中，第二次世界大战从未发生，也没有6 000万人随之丧生。而在另一个宇宙中，我们仍会遭受第二次世界大战的苦难。这两个宇宙的发展会非常不同，但它们分道扬镳是由一个微小的量子事件开始的。

科幻小说作家菲利普·K.迪克（Philip K. Dick）在其小说《高塔中的人》（The Man in the High Tower）中谈到了这个现象，其中平行宇宙因单个事件开启：子弹射向富兰克林·罗斯福，他被刺客杀害。这个关键

事件意味着美国没有为第二次世界大战做好准备，纳粹和日本取得胜利，最终把美国一分为二。

但子弹是射出，还是哑火，取决于火药是否被微小的火花引燃，而这又取决于有关电子运动的复杂分子反应。所以，也许火药的量子波动可能会决定枪是否射出子弹，而这又决定了是盟军还是纳粹取得了第二次世界大战的胜利。

所以，量子世界和宏观世界之间并没有一道“墙”分隔开。量子理论的奇异属性会渗透到我们的“常识”世界。波函数不会坍塌，它们不停地分裂，形成平行的真实世界，而这个过程不会停止。微观世界中的悖论（即，同时死去和活着，同一时刻出现在两个地方，在另外某个地方消失和再现）现在也出现在我们的世界中了。

但如果波函数持续分裂，在此过程中创造出全新的宇宙，那么为什么我们不能进入这些宇宙呢？

诺贝尔奖得主史蒂文·温伯格（Steven Weinberg）用在卧室里听收音机来形容这种现象。有成百上千条无线电波从世界各处传到你的房间，但你的收音机只调在一个频率上。换言之，你的收音机被“消相干”，无法接收其他电台。（相干性是指所有波发生完全统一的振动，比如激光。消相干性是指这些波不再协调，无法统一振动。）其他频率仍然存在，但你的收音机无法接收到这些信号，因为它们的振动频率与我们的不再相同。它们发生解耦，也就是说，它们与我们“消相干”了。

同样，随着时间的推移，死猫和活猫的波动函数也会发生消相干。这里的含义令人惊愕。我们可能与恐龙、海盗、来自太空的外星人以及怪物共处一室，但幸运的是，我们并没有意识到这些来自量子空间中的奇怪居民的存在，因为我们的原子已经无法与它们发生统一振动了。这些平行宇宙并非存在于某种遥远的想象空间，它们就在我们的卧室中。

进入这样一个平行世界的过程被称作“量子跃迁”或“漂移”，是科幻小说最喜欢用的手法。要进入平行宇宙，我们需要进行量子跃迁。（甚至有一部叫《漂移者》（Sliders）的电视剧，剧中人可以从平行宇宙滑进滑出。电视剧的开头中有一个年轻人在读书，他读的《超时空》（Hyperspace）也是我的最爱，但我自己与这部电视剧中的物理学没什么关系。）

事实上，在宇宙之间进行这样的跃迁可没有这么简单。其中有一个问题我们经常拿来考问自己的博士生：计算从一堵砖墙穿过，安全落在另一边的概率。结果会让人冷静下来。我们要从一堵砖墙穿过或滑过，要等上比宇宙寿命还长的时间。

照照镜子

当我在照镜子时看到的我，并不是真正的我。第一，我看到的是大约十亿分之一秒以前的自己，这是光从我的脸上传出，到达镜子，然后再进入我的眼睛的时间。第二，我看到的影像事实上是几十亿个波函数的平均效果。这个平均效果当然与我的真正形象相似，但这并非毫无偏差。在我周围有多个我自己的影像向所有方向发散。我被不同的宇宙包围着，不断分成不同的世界，而在这些世界之间滑移的概率如此之微小，因此牛顿力学似乎是正确的。

此时，有人会说：为什么科学家不进行一个实验来确定哪一种解释有效？如果我们用一个电子做这个实验，这三个解释都会给出相同的结果。这样，三个解释就都是量子力学中严肃可行的解释，底层的量子理论是同一个。不同之处在于，我们如何解释这些结果。

几百年后的物理学家和哲学家可能还在辩论这个问题，没有最终答案，因为三个解释得出的是相同的实际结果。但也许在某个方面，这个哲学辩论也与我们的大脑有关，这就是自由意志的问题，而这又影响到人类社会的道德基石。

自由意志

我们整个文明都建立在自由意志的观念之上，这又影响着奖励、惩罚和个人责任的概念。但自由意志真的存在吗？或者说，虽然自由意志违反物理规律，但它是不是把社会凝结在一起的明智方法呢？这个争议已经触及量子力学的核心。

可以说，越来越多的神经科学家逐渐得出结论，自由意志并不存在，至少在常规的意义上如此。如果某种怪异行为可以归结为大脑特定部位的缺陷，那么在科学上这个人就不应该为其可能犯下的罪行负责。他们会说，放任他自由地在大街上行走可能太过危险，必须关进某种机构中，但因其中风或大脑肿瘤而惩罚他确实有些不当。那个人需要的是医学上和心理上的帮助。也许，他的大脑损伤可以治愈（例如，摘除肿瘤），那他就能成为社会中有用的一分子。

例如，在我采访剑桥大学心理学家西蒙·贝隆科汉（Simon Baron-Cohen）博士时，他告诉我，很多（但不是全部）病态杀手的大脑都有异常。对他们进行大脑扫描，我们发现这些人看到别人处在痛苦之中时并没有同情感，而事实上，他们可能从中得到快感（在这些人看到别人遭受痛苦的录像时，他们的杏仁核和伏隔核，也就是控制快乐的中心，会点亮）。

我们从中得到的可能结论是，虽然应该把这些人从社会中驱逐出去，但他们并非真的对自己的罪恶行径负有责任。他们需要帮助，而不是惩罚，因为他们的大脑有问题。在某种意义上，当他们犯罪时，他们的行为并非出自自由意志。

本杰明·里贝特（Benjamin Libet）博士在1985年所做的实验，使自由意志是否真的存在受到质疑。简单地说，我们让受试者盯着时钟，然后记录下自己决定移动手指的准确时间。使用脑电图（EEG）扫描，我们记录下大脑做出这个决定的准确时间。把这两个时间进行比对，我们会发现它们之间出现偏差。EEG扫描表明，大脑做出决定的时间实际上比人意识到这个决定早了300毫秒。

在某种意义上，这意味着自由意志是虚假的。决定的做出是由大脑提前完成的，而无须意识的介入，然后大脑试图掩盖这一点（这是它通常的作法），宣称这个决定是有意识地做出的。迈克尔·斯威尼博士总结道："里贝特的发现说明，大脑在人做出决定之前就已经知道了这个人要做出什么决定……我们不仅要重新估量自愿行为与非自愿行为之间的区分，还要重新看待自由意志这个根本概念。"

所有这些似乎都指出，作为社会基石的自由意志是虚构的，是我们的左脑制造出的幻想。那么，我们还是自己命运的主宰吗？抑或，只是大脑操控的骗局中的走卒？

对付这个棘手的问题有几种方法。自由意志与决定论哲学相反，后者简单地认为所有未来事件都由物理规律决定好了。根据牛顿的观点，宇宙就像一个时钟，在时间开始之初就按照运动规律不停转动。因此，所有事件都是可预测的。

问题是，我们是这个时钟的一部分吗？我们的所有行为也被决定好了吗？这些问题有着哲学和神学上的含义。例如，很多宗教相信某种形式的决定论和命运前定。由于上帝无所不能、无所不知、无所不在，他了解未来，所以未来已经提前确定。他甚至在你出生前就已经知道你是上天堂，还是下地狱。

正是这个问题在新教革命时把天主教分为两半。根据当时的天主教教义，一个人可以通过特赦改变自己的最终命运，特赦一般可由向教堂进行大量财物捐赠获得。换句话说，钱包的厚度可以改变决定论。马丁·路德（Martin Luther）在1517年把自己的95条论纲钉在一个教堂的门上，特别指出天主教在特赦问题上的腐败，引发了新教改革。这是天主教发生分裂的关键原因之一，造成上百万人伤亡，使整个欧洲成为废墟。

但在1925年之后，不确定性通过量子力学被引入到物理学中。突然之间，一切都变得不确定起来。我们所能做的只是计算概率。在这个意义上，也许自由意志确实存在，它是量子力学的一种表现。所以，也有人说量子理论重新建立了自由意志的概念。不过，决定论者在进行反击，宣称量子效应十分微弱（仅发生在原子层面），无法解释人类的自由意志。

今天的实际情况有些含糊不清。也许，"自由意志是否存在？"这个

问题与“什么是生命？”有些相像。DNA的发现使有关生命的问题过时了。我们现在知道这个问题有着多个层次，多种复杂性。也许，同样的情况也适用于自由意志，它也有多种形态。

如果是这样，“自由意志”的说法本身就有些模糊。例如，一种定义自由意志的方法是看行为是否可以预测。如果存在自由意志，那么行为不能被提前确定。假如你看一场电影，整个情节都是预先确定好的，就没有任何自由意志可言。所以，这部电影是完全可预测的。但我们的世界与电影不同，这有两个原因。第一个原因是我们已经讨论的量子理论。这部电影仅仅代表一个可能的时间线。第二个原因是混沌理论。虽然经典物理认为原子的所有运动都是确定的、可预测的，但在实际中仍不可能预测它们的运动，因为所涉及的原子数太多。单个原子的微小扰动会产生波效应，最后会产生巨大的扰动。

试想一下天气。在理论上，如果我们知道天空中每个原子的行为，我们就能够预测之后一个世纪的天气，如果我们有这么强大的计算机的话。但在实际中，这也是不可能的。仅仅几个小时后，天气就会变得异常复杂，混乱不堪，任何计算机模拟都会失去作用。

这种效应被称为“蝴蝶效应”，意思是蝴蝶扇动翅膀造成的大气微弱波动，最后会发展升级为暴风雨。如果蝴蝶翅膀的煽动都能造成暴风雨，那么准确预测天气的希望就微乎其微了。

让我们回到斯蒂芬·杰伊·古尔德向我描述的思想实验。他让我设想45亿年前，地球初生的时刻。然后设想可以制造出一个地球的副本，任其进化发展。那么，45亿年之后在这个复制出的星球上，我们还会出现在这里吗？

由于量子效应或天气和海洋的混沌性，我们可以轻松得出结论，人类在这个星球上也许不会进化到我们现在的样子。所以，最终，由于不确定性和混沌，完全确定的世界似乎并不可能。

量子大脑

这场辩论也影响到大脑反向工程。如果你可以成功地用晶体管制造出反向工程的人类大脑，这就意味着人类大脑是确定的、可预测的。问它任何问题，它都会重复完全相同的答案。计算机就具有这样的确定性，因为它们对所有问题总是提供相同的答案。

我们面对着一个悖论。一方面，量子力学和混沌理论认为宇宙不可预测，因此，自由意志似乎存在。但另一方面，用晶体管制成的反向工程大脑由其定义必须可预测。由于在理论上反向工程大脑与活体人类大脑完全相同，那么人类大脑也应该是确定的，所以自由意志并不存在。显然，这违反了第一个命题。

少数科学家认为，由于量子理论的存在，我们不可能真的对大脑进行反向工程，或者制造出真正具有思考能力的机器。他们认为，大脑是一种量子装置，而非晶体管的集合。所以，这种工程注定会失败。这些人中就包括牛津大学物理学家罗杰·彭罗斯（Roger Penrose）博士，他是爱因斯坦相对论的权威学者，他认为人类大脑中的意识只能用量子过程来解释。彭罗斯首先提出，数学家科特·歌德尔（Kurt Gödel）已经证明算法本身并不完备，即，在算法中有些真命题无法用算法中的公理证明。同样，不仅数学不完备，物理学也不完备。他的结论是，大脑从根本上说是一个量子装置，由于哥德尔的不完全性定理，有些问题机器无法解决，但人类可以用直觉理解这样的谜团。

同样，不管反向工程的大脑有多么复杂，它仍然是晶体管和线路的集合。在这种确定性系统中，我们可以通过已知的运动规律准确地预测它未来的行为。但在量子体系中，这个体系本身是不可预测的。由于不确定性原理，我们只能计算出某事发生的概率。

如果反向工程大脑不可能复制人类行为，那么我们可能不得不承认有某种无法预测的力量在起作用（即，大脑中的量子效应）。彭罗斯博士认为，在神经元内部还有微小的结构，称为微管，这里由量子理论主宰。

目前，对这个问题并没有统一的认识。在彭罗斯的看法刚刚提出时，从人们的反应看，可以说科学界对于这个观点大多持怀疑态度。但科学不是少数服从多数的比赛，它的前进必须通过可测验的、可复制的以及可证伪的理论进行。

就我自己来说，我认为晶体管无法用类比和数字计算的方式真正地模拟神经元的行为。我们知道，神经元处在混沌状态。它们会泄漏、错误释放、衰老、死亡，而且对于环境具有敏感性。对我来说，这说明晶体管的集合只能近似模拟神经元的行为。例如我们之前在讨论大脑物理时看到的，如果神经元的轴突变薄，就会发生神经元泄漏，就不能顺利完成化学反应。有些泄漏和错误释放的情况与量子效应有关。我们设想的神经元越是薄、越是密集，运行速度越快，量子效应就越发明显。这意味着即使对于正常的神经元而言，也可能发生泄漏和不稳定的状况，而这样的问题之所以存在既有传统原因，也有量子力学的效应。

总之，反向工程机器人可能近似人类大脑，但绝不会完全等同。但与彭罗斯不同，我认为用晶体管制造出具有表面意识，但没有自由意志的确定性机器人是可能的。它可以通过图灵测验。但由于这种细微的量子效应，我们认为这种机器人与人类之间还是会有差别。

最后，我认为自由意志很可能存在，但它与粗暴的个人主义者所设想的并不一样，这些人认为他们的命运完全由自己主宰。大脑受成千上万个无意识因素的影响，这些因素会使我们提前倾向于某种选择，即使我们认为是自己做出的选择。但这并不意味着我们是可以随时重演的电

影中的演员。这部电影的结尾还没有写就，所以，严格的决定论因量子效应和混沌理论的存在而破产。最终，我们仍是自己命运的主宰。

注释

［1］（引言）

要认识这一点，我们用储存信息的总量来界定“复杂性”。在这方面，与我们的大脑最接近的是人类DNA中的信息量。我们的DNA中有30亿个碱基对，每个碱基对中都包含四种核苷酸中的一种，这四种核苷酸分别标记为A（腺嘌呤）、T（胸腺嘧啶）、C（胞嘧啶）和G（鸟嘌呤）。这样，我们的DNA中可储存的信息总量可以达到4的30亿次方（$4^{3\,000\,000\,000}$）。而大脑储存的信息量更大，它包含上千亿个神经元，每个神经元都有释放或不释放两种可能。因此，人类大脑初始状态的可能性有2的1 000亿次方（$2^{100\,000\,000\,000}$）之多。除此之外，相对于处于静止状态的DNA，大脑的状态每隔几毫秒就会发生变化。一次简单的思考就可能涉及100代神经元释放。按此计算，100代神经元释放所包含的可能思想将达到2的1　000亿次方所得结果的100次方。我们的大脑处在持续释放之中，日夜不停地运算，每N代神经元释放中所包含的可能思想总数将达到2的1　000亿次方所得结果的N次方，这是一个天文数字。因此，大脑可储存的信息量大大超过DNA。事实上，这也是我们在整个太阳系，甚至是在我们所在银河系的片区中能够储存的最大信息量。

［2］（第**2**章）

II级意识可以通过动物在与其同类交流时产生的不同的反馈回路总数来衡量。粗略地讲，II级意识约等于一个动物族群中其他个体的数量乘以该个体用于与其他个体交流时产生的不同情感或身势的总数。这种排序方法有值得商榷之处，不过这毕竟是粗略的猜测。

例如，像野猫这样的动物具有社会性，但它们同时单独捕猎，所以，有时野猫群中的个体数似乎是一。但这只是在它们捕猎时才会出现的情况。当繁殖季节到来时，野猫会有一套繁复的交配程式。衡量野猫的II级意识时要把这一点考虑在内。

另外，雌性野猫在生育、哺育幼崽时，社会性互动的数量会随之增加。所以，即使就单独捕猎的动物而言，与它发生互动的同类动物数也不是一，不同反馈回路的总数会相当大。

同样，如果狼群中的个体数量下降，狼的II级意识也会相应下降。为解释这一点，我们需要引入用以衡量整个物种的II意识平均数以及衡量单个动物的单个II级意识数的概念。

给定物种的II级意识平均数不会因为种群规模变小而发生改变，因

为这个数适用于整个物种，但单个II级意识数会随之发生改变（因为它衡量的是单个动物的神经活动和意识）。

用II意识平均数衡量人类时还要考虑邓巴数（dunbar number），即150，这个数字粗略地代表了在社交群体中我们可追踪的人数。所以，人类物种的II级意识数可以视作我们用于交流的情感和身势总数乘以邓巴数150。（每个个体可能有不同的II级意识数，因为他们各自的朋友圈以及交流的方式可能十分不同。）

我们应该注意到，某些I级意识的生物（如昆虫和爬行动物）也表现出社会性行为。蚂蚁遇见同类时可以通过化学气味交换信息，蜜蜂可以通过舞蹈传递花床的位置。爬行动物甚至拥有原始的边缘系统，但总体来说它们没有情感表现。

[3]（第5章）

这引出了一个问题，信鸽、候鸟、鲸鱼等动物是否有长期记忆呢？它们毕竟能够迁徙成千上万英里去寻找食物和繁衍地。目前科学还无法回答这个问题。但人们认为，它们的长期记忆体现于标定沿途的某些路标，而非唤起关于过去事件的复杂记忆。换言之，它们并非利用对过去事件的记忆来模拟未来。它们的长期记忆只包含一系列标记。显然，只有人类能够利用长期记忆模拟未来。

弦场论创始人之一，加来道雄将注意力转向了人类心灵，拿出了同样令人称赞的成绩。心灵感应不再是幻想，因为扫描仪已能识别受试者的思想，虽然这种识别还很粗糙。此外，基因学和生物化学现在可以让研究人员改变动物的记忆，提升动物的智能。对大脑的不同区域直接施加电刺激可以改变人的行为，唤醒昏迷中的病人，缓解抑郁，引起灵魂出窍及宗教体验……。加来道雄不忌惮于引述科幻电影和电视剧（他观看了所有节目）……他根据已在进行中的优秀研究作出了新颖的预测。



让人深思的事实：银河系中恒星的数量（大约1 000亿颗）与人类大脑中神经元的数量一样多；我们的手机要比阿波罗11号登陆月球时美国宇航局所拥有的运算能力强大许多。这两个表面上并不相关的事实告诉我们两件事：我们的大脑是极为复杂的有机体；科学幻想可以很快地成为现实。加来道雄这本让人深度着迷的书探寻人类大脑的前景：实用性的心灵感应和心灵遥控，可植入大脑的人造记忆，能提升智力的药片，大脑下载人造记忆治疗中风和老年痴呆症。科幻迷读到此书可能会激动不已：这样的事正在发生，真的在发生！对于从没真正思考过大脑的极端复杂性和巨大潜力的普通读者，此书可以成为大开眼界的神奇之旅。

Physics of the Future

物理学的未来

科学决定2100年的世界蓝图

[美] 加来道雄（Michio Kaku）著
伍义生 杨立盟 译

- 让你如醉如痴、眼花缭乱、兴奋不已
- 门外汉都能读懂的世界科学名著

重庆出版集团 重庆出版社
果壳文化传播公司

科学可以这样看丛书

物理学的未来

科学怎样决定人类的命运和改变
2100年我们的生活

[美]加来道雄(Michio Kaku) 著
伍义生 杨立盟 译

重庆出版集团 重庆出版社
果壳文化传播公司

PHYSICS OF THE FUTURE by Michio Kaku
Copyright © 2011 by Michio Kaku
Chinese Translation Copyright © 2012 by Chongqing Nutshell Cultural Communication Co.，Ltd.，Chongqing Publishing Group
This edition is published by arrangement with Andrew Nurnberg Associates International Ltd.
All rights reserved

版贸核渝字（2011）第165号

图书在版编目（**CIP**）数据

物理学的未来/（美）加来道雄（Michio Kaku）著；伍义生，杨立盟译．—重庆：重庆出版社，2012.5

（科学可以这样看丛书/冯建华主编）

ISBN 978-7-229-05052-8

Ⅰ．①物…　Ⅱ．①加…　②伍…　③杨…　Ⅲ．物理学—普及读物
Ⅳ．①04-49

中国版本图书馆CIP数据核字（2012）第057412号

物理学的未来
PHYSICS OF THE FUTURE
——科学怎样决定人类的命运和改变2100年我们的生活

〔美〕加来道雄（Michio Kaku）　著　伍义生　杨立盟　译

出 版 人：罗小卫

责任编辑：冯建华

责任校对：何建云

封面设计：重庆出版集团艺术设计有限公司·黄杨


重庆出版集团
重庆出版社　出版

果壳文化传播公司　出品

重庆长江二路205号　邮政编码：400061　http：//www.cqph.com

重庆出版集团艺术设计有限公司制版

重庆升光电力印务有限公司印刷

重庆出版集团图书发行有限公司发行

E-MAIL：fxchu@cqph.com　邮购电话：023-68809452

全国新华书店经销

开　　本：720mm×1000mm　1/16

印　　张：22.25

字　　数：300千

2012年5月第1版　2012年11月第2次印刷

ISBN 978-7-229-05052-8

如有印装质量问题，请向本集团图书发行有限公司调换：023-68706683

版权所有　侵权必究

如果
你能想象
勇敢地想象一下**2100**年的世界

《纽约时报》畅销书《平行宇宙》的作者加来道雄，在其《物理学的未来》中通过对300多位在实验室中已经创造了未来世界的顶级科学家的采访，给我们呈现了新世纪绝妙的、令人激动而兴奋的愿景。其结果是权威地、科学地、准确地描述了在财富、医学、计算机、人工智能、纳米技术、新能源生产和航天技术等领域将来的革命性发展。

到了2100年，我们将很可能借助微小的大脑传感器控制计算机，像魔术师那样用心灵的力量移动物体。人工智能将分散在环境的各处，网络驱动的隐形眼镜将允许我们访问全球信息库，或者在眨眼的一瞬间想起我们想要的任何影像。

那时，汽车将使用GPS自动行驶；而且，如果发现了室温超导体，交通工具将在空气垫上自如飞行，在强大的磁场上几乎没有摩擦力地快速滑行，宣告磁力时代的到来。

科学家们将使用分子医学培育各种人体器官，治愈遗传疾病。数百万个微小的DNA传感器和在血液细胞中巡游的纳米机器人，将默无声息地扫描我们体内发现疾病症状的最早信号，而且基因研究的快速发展将使我们能够延缓甚至逆转衰老过程，极大地延长人类的寿命。

在太空中，使用激光推进器的全新式针头大小的宇宙飞船将取代现在昂贵的化学火箭，也许就能够访问离我们较近的恒星。纳米技术的发展可能产生传说中的太空升降机，只要按下按钮，就能够把人类送入距离地球大气层数百英里的太空。

然而，这些惊人的启示只是冰山一角。加来道雄博士讨论了具有情感的机器人、反物质火箭、X光透视以及创造新生命体的能力。

他还考虑到了世界经济的发展问题，谈到了几个关键问题：谁将是未来的赢家和输家？谁将有工作？哪些国家将繁荣昌盛？

Praise for Michio Kaku
对加来道雄的赞语

“如醉如痴……读者读完后感到眼花缭乱、兴奋不已，以一种前所未有的方式看待世界。”

——《华盛顿邮报图书世界》（*Washington post book world*）

“加来道雄以其清晰而诙谐的风格、通俗地解释最高深理论的技巧，以及对未来学见多识广的知识和倾注的热情，撰写了最流行的高等物理学的巨著之一。”

——《华尔街日报》（*Wall Street Journal*）

“敢于想不可思议的事情，这是多么了不起的激动人心之作。”

——《纽约时报书评》（*New York Times book review*）

“（这是）一位博学的、引人注目的权威人士科学研究的令人刮目相看的潜力的洞察。”

——《芝加哥论坛报》（*Chicago Tribune*）

“（这是）容易接受的、令人愉快的、振奋人心的。”

——《新科学家杂志》（*New Scientist*）

“以令人激动的方式呈现出的迷人信息……动人心弦……非常出色！”

——《费城询问者报》（*Philadelphia Inquirer*）

“（这是）一次令人鼓舞的体验。”

——《基督教科学箴言报》（*Christian Science Monitor*）

“加来道雄清楚而生动地谈到了大量的材料。”

——《洛杉矶时报书评》（*Los Angeles times book review*）

加来道雄博士
纽约城市大学
理论物理教授

他的
其他著作：
《平行宇宙》（*Parallel Worlds*），中文版本社已出版
《不可能的物理学》（*Physics of the Impossible*）
《超空间》（*Hyperspace*）
《幻想》（*Visions*）
《爱因斯坦的宇宙》（*Einstein’s Cosmos*）
《超越爱因斯坦》（*Beyond Einstein*）

To

my loving wife，Shizue，

and my daughters，Michelle and Alyson

献给我

心爱的妻子静枝

和我的女儿米歇尔、艾丽丝

目录

引言　预测下一个100年
1．计算机的未来　智力胜过物质
2．人工智能的将来　机器的出现
3．医学的未来　完善和超越
4．纳米技术　万物从无产生？
5．能源的未来　来自星星的能量
6．未来的太空旅行　星际遨游
7．未来的财富　赢家与输家
8．人类的未来　行星文明
9．2100年的一天生活
致谢
返回总目录

加来道雄博士始终以科学家严谨的态度阐释科学原理，研究某些技术可能成熟的速度，这些技术能发展到什么程度以及具有哪些根本的局限性和危险性。《物理学的未来》一书综合了大量资料，形成了对2100年之前数十年引人入胜的看法；该书是一种扣人心弦的、奇妙的、可实现的工具，可以让我们了解下个世纪翻天覆地的科学革命。

加来道雄：纽约城市大学理论物理学教授；超弦理论创始人之一；广受好评的畅销书作者，如《平行宇宙》和《物理学的未来》，这是其主持的BBC电视台、发现频道、科学频道等电视节目的基础；还是通过140多个无线电台广播的“探索”和“神奇的科学”两个广播节目的主持人。

引言　预测下一个100年

未来的帝国将是智力的帝国。

——温斯顿·丘吉尔（Winston Churchill）

当我还是一个孩子的时候，曾经经历过两件事，正是这两件事把我塑造成了今天的我，并使我获得了两种感情，而这两种情感又帮助我确立了我的整个生活。

第一件事发生在我8岁的时候，我记得那天所有的老师都在低声议论一条新发布的新闻——某个伟大的科学家刚刚去世了。那天晚上，报纸刊登了一张这个科学家办公室的照片，在他的书桌上放着没有完成的手稿，大字标题写着：我们时代最伟大的科学家没有完成他最伟大的杰作。我问自己，是什么样的困难让如此伟大的科学家不能完成这部杰作呢？这个著作又有多么复杂和多么重要呢？对于我来说，这一点最终成为了比任何神秘谋杀案都更加让我痴迷、比任何探险故事都更加让我感兴趣的问题。我必须知道那部未完成的手稿里到底写了些什么。

后来，我知道了这位科学家的名字就是阿尔伯特·爱因斯坦，那部未完成的手稿本应成为他的另一个巅峰成就，他准备在这部书中创造出一个“万物的理论”（theory of everything），并将其归纳为一个方程式，虽然这个方程式的长度恐怕超不过1英寸（2.54厘米）宽，但是它却能够解开宇宙的秘密，或许能让他“读懂上帝的心”。

孩提时代的第二件大事，就是观看每周六上午播出的电视连续剧《飞侠哥顿》（*Flash Gordon*），扮演“飞侠”的是巴斯特·克拉比（Buster Crabbe）。在每周节目播出的时候，我都看得很投入，我的鼻子都快贴到电视屏幕上了。我像着了魔一样进入到一个到处是外星人、星际飞船、射线枪战、水下城市和怪兽的神秘世界里。我已经深陷其中而不能自拔。这就是我最初了解的未来世界。从那时起，每当我幻想未来世界的时候，就会像儿时那样感到无比的神奇。

但是，在看了这个系列的每个故事之后，我开始认识到尽管“飞侠”（Flash）得到大家的赞美，实际上这个节目之所以能够获得巨大的成功却要归功于科学家扎尔科夫博士（Dr.Zarkov）。是他发明了火箭船、看不见的盾、城市天空的能源等，没有科学家就没有未来的世界。缤纷灿烂的场景虽然能够赢得社会的青睐，但是电视剧里那些未来世界中的神奇创造和发明却都是许多不知名的科学家研究成果的副产品。

后来，在我高中的时候，我决定跟随这些伟大科学家的足迹，将我学到的知识付诸实践。我想成为这个我知道将会改变世界的大革命的一部分。我决定建一个原子击破器。我要我的母亲允许我在她的车库里建一个230万电子伏特的粒子加速器。她有些吃惊，但还是同意我去做。

然后，我去威斯丁豪斯（Westinghouse）和瓦里安（Varian）协会，得到了400磅（181.44千克）的变压器钢和22英里（35.41公里）长的铜线，在我母亲的车库里装配了一个电子感应加速器。

以前，我曾建过一个具有强大磁场的云室，用来拍摄反物质的踪迹。但是仅仅拍摄反物质是不够的，我现在的目标是要产生一束反物质。原子击破器的磁场线圈成功地产生了巨大的10000高斯的磁场（大约为地球磁场的20000倍，在原理上用手就足以劈开一个铁锤）。这个机器吸收了6千瓦的能量，消耗了我家房子可能提供的全部电力。当我开动这个机器时，我常常把房屋中所有的保险丝都烧掉。（我可怜的母亲一定会想，我怎么就不能有个爱踢足球的儿子呢。）

所以说，在我一生的生活中有两种激情在激励着我：渴望通过一个单一而一致的理论去理解宇宙，渴望看到将来。最终，我认识到这两种激情是相互补充的，理解未来的关键是要掌握自然的基本规律，然后将这些规律应用到新的发明、设计和治疗方法上，而这些新的发明、设计和治疗方法将重新确定遥远将来我们的文明。

我发现，有很多人试图预测未来，很多是有用的，有深刻的见解。然而，这些预言主要来自历史学家、社会学家和科幻作家，所谓的“未来学家”都是一些根本不具备第一手科学知识的门外汉，但是他们却在预言科学世界的未来。而科学家，即实际在实验室中创造未来的内行人，因为他们过于忙于找到科学上的突破口，因此没有时间为公众撰写有关未来的书籍。

这就是这本书的与众不同之处。我希望这本书能以一个内行人的视角讲述那些等待着我们的不可思议的发现，为人们提供一幅2100年世界最真实和最权威的景象。

当然，完全准确地预测将来是不可能的。我认为，最好的方式就是钻进处于科学研究前沿、正为创造未来而辛勤工作的科学家们的大脑里。他们是创造设备、潜心发明和研究治疗方法，使人类文明发生变革的人。这本书就是他们的故事。我曾有机会与这些伟大的革命家在前排位置就座，曾经为了制作电视和广播节目采访过300多位世界顶尖的科学家、思想家和梦想家。我曾带着电视节目摄制小组进入他们的实验室，拍摄有关将要改变我们未来的令人不可思议的设备的原型机。我有幸为BBC电视节目、发现频道、科学频道主持了大量科学专辑，描绘了这些敢于创造未来的梦想家的非凡发明和发现。由于我从事的超弦理论的研究工作是自由的，又具有了解那些将会改变本世纪面貌的前沿科学研究成果之便，我感到我有一个在科学上最值得完成的工作，这就是使我童年的梦想变成现实。

但是这本书不同于我以前写过的书。在《超越爱因斯坦》、《超空间》、《平行宇宙》这些书中，我讨论的是在我的研究领域——理论物理学界刮起的最新的、革命的风暴，它们正在打开理解宇宙的新途径。

在《不可能的物理学》中，我讨论了物理学中最新的发现，这些发现甚至可以让科幻小说中最离奇的虚构计划变成现实。

这本书与我的另一本书《幻想》最接近，在那本书中我讨论了在未来几十年里科学将会怎样演变。我感到非常欣慰，《幻想》中的很多预言今天都按确定的时间表实现了。我的书之所以精确，在很大程度上取决于我为写这本书采访过的很多科学家的智慧和远见。

但是，现在的这本书将以更广阔的视野预测将来，讨论未来100年里可能会日趋成熟的技术，这些技术将最终决定人类的命运。我们怎样应对挑战，怎样抓住下一个100年的机会，将决定人类发展的最终轨迹。



预测下一个世纪

预测今后几年已经是一个艰巨的任务，更不要说预测一个世纪后的将来。然而，这就是我们面对的挑战，我们相信我们梦想的技术终有一天会改变人类的命运。

1863年，伟大的小说家儒勒·凡尔纳（Jules Verne）完成了一部名叫《20世纪的巴黎》（*Paris in the Twentieth Century*）的预言小说，这大概是他一生中最雄心勃勃的一个写作项目。在这部小说里，他应用他巨大天才的全部力量预测即将到来的20世纪。不幸的是，这部手稿在时间的流逝中丢失了，一直到他的曾孙偶然发现它躺在一个保险柜里，被小心翼翼地锁了几乎130年。他的曾孙立刻意识到他发现了一个宝藏，于是设法在1994年将其出版，使它成为了一本畅销书。

回到1863年，国王和君主还统治着古老的帝国，穷困的农民在田地里从事着非常艰苦的劳作。美国被毁灭性的内战消耗殆尽，国家几乎被撕裂。蒸汽动力刚刚开始为世界带来一场革命性的变化。但是，凡尔纳预测在1960年巴黎会有玻璃摩天大楼、空调、电视、电梯、高速列车、汽油动力汽车、传真机，甚至还有某种与当今的互联网相像的东西。凡尔纳以离奇的精确性描绘了现代巴黎的生活。

这不是侥幸成功，因为就在几年之后他又做出了另一个大胆的预测。在1865年，他写了《从地球到月球》（*From the Earth to the Moon*），在这本书中他预测了100多年后在1969年将我们的宇航员送往月球的详细情况。他精确地预测了太空舱的尺寸，误差只有百分之几。

他预测的发射场在美国的佛罗里达州，离实际发射飞船的卡纳维拉尔（Canaveral）角不远。他还预测了这次使命中宇航员的数目、航行持续的时间、宇航员经受的失重考验和最后溅落在海上的情景。（唯一主要的错误是燃料，他用的是火药而不是火箭燃料将宇航员送往月球。但是，液体燃料火箭却是在那之后大约70年才发明出来的。）

儒勒·凡尔纳怎么能够如此精确地预测100年后发生的事情呢？他的传记作者们都发现了这样一个事实：尽管凡尔纳本人不是科学家，但是他经常寻找科学家，和他们讨论有关他们对未来的看法。凡尔纳收集了大量反映他那个时代伟大科学发现的资料。凡尔纳比别人更加清楚地认识到科学是撼动文明基石的发动机，科学以难以预料的奇迹推动着人类文明进入新的世纪。凡尔纳之所以拥有先见之明和深远的洞察力，是因为他抓住了科学这个推动社会变革的动力。

另一位在技术方面的伟大预言者是列奥纳多·达·芬奇（Leonardo da Vinci），一位绘画家、思想家和幻想家。在15世纪后期，他画出了将来有一天会充满天空的机器，他的那些草图都十分的美丽和精确：降落伞、直升机、滑翔机，甚至飞机。引人注目的是，他的很多发明是会飞的。（然而，他的飞行器还需要一个要素——至少1个马力的发动机，一种又过了400年才会有的东西。）

同样令人吃惊的是达·芬奇绘制了一个机械加法器的蓝图，比这个机器真正出现早了大约150年。1967年，人们对他的一部放错了地方的手稿进行了重新分析，从而揭示出了他有一个13位数字轮的加法器的设想。如果转动一个曲柄，内部的齿轮就按次序转动，进行算数计算。（直到1968年人们才成功地造出了这个机器，并且工作得很好。）

此外，在20世纪50年代又发现了达·芬奇的另一部手稿，其中含有一个勇士机器人的草图：戴着德国意大利盔甲，能够坐立，手臂、脖子、下巴能动。这个勇士机器人随后也建造成功了。

像儒勒·凡尔纳一样，达·芬奇通过咨询他那个时代的一些具有前瞻性思维的人深刻地洞察了未来。他是处在创新前沿的小圈子中的人之一。此外，达·芬奇总是不断地试验、建造和构建模型，这是任何想把思想变为现实的人所必须具有的重要品质。

既然凡尔纳和达·芬奇具有预见未来的伟大洞察力，我们就要问一个问题：我们有可能预见2100年的世界吗？本书将以凡尔纳和达·芬奇为榜样，密切考察世界上一流科学家的工作，这些科学家正在建造将要改变我们未来的技术的原型。这本书不是一部幻想作品，不是好莱坞剧作家头脑发热后想象的副产品，而是以当今全世界主要实验室正在进行的科学研究为坚实基础的。

所有这些技术原型业已存在。正如威廉·吉布森（William Gibson）——《神经漫游者》（*Neuromance*）的作者，电脑空间（cyberspace）

一词的创造者——曾经说过的："将来已经在这里，只是尚未全面普及。"

预测2100年的世界是一个艰巨的任务，因为在我们这个时代里，科学正发生着深刻的巨变，新发现层出不穷且速度越来越快。我们过去几十年累积的知识比整个人类历史累积的知识还要多。到2100年这些科学知识还要翻很多倍。

要领会预测未来100年的艰巨性，最好的方法也许是回想一下1900年的世界，想想我们祖父母们当时的生活。

新闻记者马克·沙利文（Mark Sullivan）要我们想象一下某个人正在读一份1900年的报纸的情景：

> 在1900年1月1日的美国报纸上，我们找不到"无线电"这个词，因为20年后它才会出现；没有"电影"，这也是未来的东西；没有"汽车司机"，因为汽车刚刚出现，被叫做"无马客车……"更没有"飞行员"这个词……农夫还没有听说过拖拉机，没有联邦储蓄系统的银行家。商人还没有听说过连锁店或"自助服务"；没有哪个海员使用过燃油发动机……在乡村道路上跑的还是牛拉的篷车队……马车和骡车还是最普遍的运输工具……在宽阔栗树的树荫下铁匠在打铁。

要理解预测下一个100年的困难，我们不得不了解1900年的人预测2000年世界的困难。1893年，作为芝加哥世界哥伦比亚（Columbian）博览会的一部分，74位名人应邀对下一个100年的生活进行了预测。后来的事实证明，他们都有一个共同的问题——全部低估了科学发展的速度。例如，很多人正确地预测到了有一天跨洋商业飞行器将诞生，但是他们想到的是飞行气球。参议员约翰·J.英格尔斯（John J.Ingalls）说："到那时，一个市民想要得到一个能驾驶的气球就像想得到一辆轻便马车或一双靴子一样平常。"他们也都没有预见到汽车的到来。美国邮政部长约翰·沃纳梅克（John Wanamaker）说，即使在100年后的将来，美国的邮件仍将通过公共马车和马背邮递。

这种低估科学和创新的问题甚至扩大到了专利局。1899年，美国专利局局长查尔斯·H.迪尔（Charles H . Duell）说："每一件能够发明的东西都已经发明出来了。"

有时，专家们对发生在眼皮子底下自己研究领域里的事情也同样估计不足。1927年还是无声电影时代，华纳兄弟公司奠基人之一哈里·M.华纳（Harry M . Warner）曾经说过一句话："究竟是谁想听电影里的演员说话呢？"

1943年，IBM公司的主席托马斯·沃森（Thomas Watson）也说过："我认为整个世界市场可能只需要5台计算机。"

这种对科学发现能力的低估甚至扩大到了声名显赫的《纽约时报》。〔1903年，就在赖特（Wright）兄弟在北卡罗来纳州的基蒂霍克（Kitty Hawk）成功试飞他们的飞机的前一周，《纽约时报》声称研制飞行器是浪费时间。1920年，《纽约时报》批评火箭专家罗伯特·戈达德（Robert Goddard），断言他的工作毫无意义，因为火箭不能在真空中运动。49年后，“阿波罗11号”的宇航员在月球上着陆，《纽约时报》为了挽回信誉收回了自己的断言：“现在已经确切地知道火箭可以在真空中运行。《纽约时报》为它犯下的错误道歉。”〕

我们由此得到了一个教训：同未来打赌，断言什么事情是不可能的将会非常危险。

在预测未来的时候，除了少数例外之外，我们总是低估了技术前进的步伐。事实一次次告诫我们，历史是由乐观者而不是悲观者写成的。正如德怀特·艾森豪威尔（Dwight Eisenhower）总统曾经说的：“悲观主义决不会赢得战争。”

我们甚至可以看到科幻作家低估了科学发现的步伐。我们回过头看看20世纪60年代的老电视系列片《星际迷航》（*Star Trek*），你会注意到，这些影片中的“23世纪的技术”现在就已经有了。回到当时，电视观众看到手机、手提式计算机、会讲话的机器、会听写的打字机时，无不感到非常的惊讶，而这些技术今天都已经成为现实。很快，我们将会拥有各种形式的万能翻译器，在我们谈话的同时在不同语言之间迅速地进行翻译。还会有“远距诊断仪”，可以远距离诊断疾病。〔除了曲速引擎飞行器（Warp Drive Engines）及运输机，这些23世纪的很多科学技术现在已经存在了。〕

既然人们在预测将来时犯了许多明显低估未来的错误，我们怎么能够为我们的预测提供一个坚实的基础呢？



理解自然的规律

今天我们不再生活在科学的黑暗时代，那时的人们认为闪电和瘟疫是神在发怒。我们有了凡尔纳和达·芬奇时代所不曾拥有的巨大进步：对自然规律的透彻了解。

任何预测总是有缺陷的，但是有一个方法可以使得我们的预测更加具有权威性，那就是抓住自然界中驱动整个宇宙的4种基本的力。每当

我们理解和描述了其中的一种力，它就会改变人类的历史。

第一种要解释的力是重力。艾萨克·牛顿（Isaac Newton）给了我们力学，它能够解释在力的作用下物体的运动，而不是靠神灵和玄学。这有助于为工业革命铺平道路和引进蒸汽动力，特别是机车。

第二种要理解的力是电磁力，它照亮了我们的城市，为我们的电器供给电能。当托马斯·爱迪生（Thomas Edison）、迈克尔·法拉第（Michael Faraday）、詹姆斯·克拉克·麦克斯韦（James Clerk Maxwell）和其他人致力于解释电磁现象时，就触发了电的革命，创造了很多的科学奇迹。我们看到，每当停电时社会就突然退回到100年前的过去。

第三种和第四种要理解的力是两种核力：弱核力和强核力。当爱因斯坦写下$E=mc2$和当20世纪30年代原子被分裂时，科学家开始懂得是这些力照亮了天空。这揭示出了星星背后的秘密。这不仅仅释放了原子武器的可怕力量，也使我们充满了希望，总有一天我们能够在地球上利用这种能量。

今天我们已经非常好地理解了这4种力。第一种力现在用爱因斯坦的广义相对论描述。其他3种力用量子理论来描述，它使我们解开了亚原子世界的秘密。

量子理论还给了我们晶体管、激光和数字革命，推动了现代社会的发展。同样，科学家可以利用量子理论解开DNA分子的秘密。生物技术革命的惊人速度是计算机技术的直接结果，因为DNA（脱氧核糖核酸）的排序都是由机器、机器人和计算机完成的。

其结果是，我们能够更好地看到在未来这个世纪里科学和技术的发展方向。总会有完全未曾预料到的、让我们目瞪口呆的新的惊奇出现。但是现代物理学、化学和生物学的基础已经基本奠定了，至少在可以预见的未来这些基本知识不会发生重大的改变。其结果，我们在这本书中所做的预测不是胡猜乱想，而是对今天已有的原型技术最终将会成熟到什么程度的合理的估计。

结论是：我们有若干理由相信，我们可以看到2100年世界的轮廓：

1. 这本书是根据对300多位处于科学发现前沿的顶尖科学家的采访写成的。
2. 这本书中提到的每一项科学发展是与已知的科学定律一致的。
3. 4种力和自然界的基本规律已经基本知晓；预计这些规律不会有新的重大变化。
4. 这本书中提到的所有技术原型已经存在。
5. 这本书是由“内行人”写的，他亲眼看到科学研究前沿中的技术。

我们曾经世世代代都是自然界活动的被动观察者，我们只能惊奇而恐惧地凝视着彗星、闪电、火山喷发和瘟疫，认为这些现象都超出了我们的理解能力。对古代的人来说，自然力是不得不惧怕和崇拜的永久的秘密，因此他们创造了神话中的神，以使周围的世界变得有意义。古代的人希望通过向这些神祈祷，让神同情他们并满足他们的心愿。

今天，我们变成了自然界这个舞台上的导演，能够到处调整自然的规律。到了2100年，我们将会变成自然的主人。



2100：变成神话中的神

今天，如果我们能够用某种方式访问我们古代的祖先，向他们展示现代的科学和技术，我们就会被看成是魔术师。我们可以用科学的魔术向他们展示能在云彩中翱翔的喷气式飞机，能够探测月球和行星的火箭，能够看透人体的磁共振成像扫描仪，能够与地球上任何人联系的手机。如果我们向他们演示在膝上型便携式电脑（heavy laptop computer）上可以跨过各个大陆瞬间发送移动的图像和信息，他们会认为这是巫术。

但这只是开始，科学不会停止不前。在我们周围，科学正以指数方式爆炸性地发展。如果你计算一下发表科学论文的数量，你将发现这个数量大约每过10年就会翻一番。创新和发现正在改变整个经济、政治和社会面貌，推翻所有陈旧的宝贵信仰和偏见。

现在，我们来勇敢地想象一下2100年的世界。

到2100年，我们自己注定会成为我们曾经崇拜和惧怕的神。但我们的工具不是魔杖和迷幻药，而是计算机科学、纳米技术、人工智能、生物技术，最重要的是量子理论，它是已有技术的基础。

到2100年，我们将能够像神话中的神那样，用我们的心力操纵物体。计算机能够默默地识别我们的想法和实现我们的愿望。我们将仅仅通过我们的心力就可以移动物体，这是一种只有神才具有的遥控能力。由于生物技术的威力，我们将能创建完美的身体和延长我们的生命跨度。我们还能创建在地球表面从未行走过的新的生命形式。利用纳米技术的力量，我们将能够把一个物体转变成任何别的东西，看起来好像是从虚无中创造出某种东西一样。我们将不是乘坐在闷热的轿车中，而是驾驶着悬浮在空中的无燃料汽车轻松地疾驶。我们将能够发明一种利用

星星的无限能量的发动机。我们也将开始发送星球飞船去探测附近的星球。

尽管这些像神一样的能力似乎是不可思议的先进，然而甚至就在我们现在谈话的时候就已经播下了所有这些技术的种子。是现代科学而不是圣歌和咒语将赋予我们这种能力。

我是一个量子物理学家，我每天都同控制亚原子粒子的方程式博弈，而宇宙正是由这些亚原子粒子创造的。我生活在一个由11维超空间（hyperspace）、黑洞和通达多元宇宙之门构成的世界里。但是，用来描述星球爆炸和大爆炸的量子理论方程，也能用来解读我们的未来的大致轮廓。

但是，所有这些技术的改变会把我们引向何处呢？在这漫长的科学和技术的旅程中哪里才是最终的目的地呢？

所有这些巨变的顶点是行星文明，物理学家将它称做I类文明。这大概是历史上最伟大的转变，急速地抛开过去的各种文明。新闻报道的大字标题都会以不同方式反映出这个行星文明诞生时所带来的巨痛。商业、贸易、文化、语言、娱乐、休闲活动甚至战争，全都会因为这个行星文明的出现而改变。通过计算这个行星的能量输出（energy output），我们可以估计我们将在100年内达到I类状态。除非我们屈从于混乱和愚蠢的力量，否则向这个行星文明的转变是不可避免的，这是历史和技术巨大而无情的力量必将产生的最终结果。



为什么有时预测不能变成现实

但是，人们对信息时代所做的若干预测却是完全不真实的。例如，很多未来学家预测“无纸办公室”，即计算机将使纸变成废物。然而，实际发生的事情却完全相反，只要看一看任何一个办公室，你就会发现现在用纸的数量比过去任何时候都多。

还有人预测会出现“无人的城市”。未来学家预测，通过互联网召开电信会议将会使面对面的生意洽谈不再必要，因此人们也不再需要跑来跑去。实际上，城市本身几乎会变为一座空城、变成鬼城，因为人们都在家里而不是在办公室里工作。

同样，我们也会看到“网络旅游”的出现，人们会整天躺在沙发上，

通过计算机上的互联网漫游世界和欣赏景色。我们也会看到“网络购物者”，他们让鼠标代替他们走路；购物商场将会破产。“网络学生”将会在线学习所有的课程，而暗地里却大玩视频游戏和喝啤酒。大学将因为不再有人感兴趣而关闭。

我们再来看一下“可视电话”。在1964年世界博览会期间，美国电话电报公司（AT＆T）花了1亿美元去完善一种可以连接电话系统的电视屏幕，你在打电话时可以看到对方，对方也可以看到你。这个想法从未实现；AT＆T仅销售了100台这样的电视屏幕，每一台约合100万美元。这是一个代价昂贵的失败。

最后，有人认为传统的媒体和娱乐的消失即将到来。有些未来学家声称，因特网是世界的主宰，它将会吞噬剧场、电影、收音机、电视，所有这些都将成为只能在博物馆中看到的东西。

实际发生的事情却相反。城市生活的一个永久性特色——交通堵塞比以往任何时候都糟。去外国旅游的人数打破了纪录，使旅游成为这个行星上发展最快的行业之一。尽管处于经济困难时期，购物者仍然像潮水一般涌向商店。虽然网络学校不断增多，大学招生的数量仍然不断创下新高。可以肯定的是，有更多的人决定在家里工作，或与他们的同事通过远程电信会议交谈，但是城市根本没有空置，而是变成蔓生的超大城市。今天，尽管在因特网上进行视频对话很容易，但是绝大多数的人并不愿意上镜头，更情愿面对面地交谈。当然，因特网改变了整个媒体的面貌，因为媒体巨人们正想方设法在因特网上赚取利润，但是这并没有消除电视、无线电广播和剧场的作用。百老汇的灯光仍然像以前一样闪烁。



洞穴人原理

为什么这些预测不能成为现实呢？我猜测大部分人拒绝这些高级的联系方式是因为我所说的洞穴人原理（Cave Man Principle）或洞穴女人原理（Cave Woman Principle）。遗传和化石证据说明，看起来很像我们的现代人是10多万年前从非洲起源的，但是我们没有证据说明，从那时开始我们的大脑和个性已经有了很大的变化。如果你拿出一个那个时期的人，在解剖学上他和我们是相同的；如果你给他洗个澡、再刮刮胡子，让他穿上三件套西装，然后把他放在华尔街上，他和任何其他人在外表上并没有任何差别。我们的需要、梦想、个性和愿望也大同小

异，在10万年中恐怕也没有多大变化，我们仍然像我们的洞穴祖先那样思考问题。

要点是：每当现代技术和我们原始祖先的愿望发生冲突时，总是这些原始的愿望占上风。这就是洞穴人原理。例如，洞穴人总是要求提供“被杀死猎物的证据”，仅仅吹嘘一个大猎物跑掉了是不够的。一个到手的有血有肉的猎物始终比跑掉的猎物要实惠得多。同样，当我们处理文件时，我们总想保存一份硬拷贝（hard copy，电脑打印稿）。我们本能地不信任飘浮在我们计算机屏幕上的那些电子，因此我们会把电子邮件和报告统统打印出来，甚至在毫无必要时也这样做。这就是为什么无纸办公室一直没有出现的原因。

同样，我们的祖先喜欢面对面地会见。这有助于加强我们与其他人的联系，了解他们内心的情感。这就是为什么无人城市也没有出现的原因。例如，一位老板可能想要仔细地品评他的雇员，通过在线网络很难做到这一点，但是以面对面的方式老板就能够读到这个人的身体语言，获得有价值的未发觉的信息。通过近距离观察一个人，我们就能感受到彼此之间的关系，就能够理解他微妙的身体语言，发现他的头脑中正在想些什么。这是因为我们的类人猿祖先，在他们能讲话之前的几千年中都是使用身体语言传达他们的思想和感情。

这就是为什么网络观光游览始终未能代替实地旅游的原因。看一张泰姬陵（Taj Mahal）的图片是一回事，亲自实地去看它则是另一回事。同样，听一张你喜欢的音乐家的CD唱片与在充满生气的音乐厅实际看到这个音乐家的感觉是不一样的，在现场你会突然感到情绪的冲动，被周围各种吹奏声、喧闹声、嘈杂声所感染。这意味着尽管我们能够下载我们喜欢的剧目和明星的真实图片，却不会像在舞台上实际看节目和亲自看演员表演一样。粉丝们为了得到一张他们喜爱的明星签名的图片和音乐会的门票，哪怕要走很远的路也心甘情愿，尽管他们可以从因特网上免费下载这些图片。

这就解释了为什么因特网会把电视和收音机一扫而光的预测不能成为现实的原因。当电影和收音机出现的时候，人们以为真人演出的剧场就要寿终正寝了；而当电视出现时，人们又预测电影和收音机将会退出历史舞台。然而，我们现在却仍然生活在所有这些媒体之中。它带给我们一个教训：一种新媒体决不会消灭旧有的媒体，而是与其共存。这些媒体的混合和相互之间的关系是不断变化的，任何一位能够精确预测将来这些媒体会怎样结合的人，很可能变得非常富有。

其中的理由是，我们古代的祖先总是希望亲自看到某件事物或事情，而不依赖道听途说。依靠实际的身体体验而不是谣言，对他们在森林中幸存下去是至关重要的。甚至从现在开始的100年后，我们仍然会有真人演出的剧场，人们仍然会追逐明星，这是我们远古时代的祖先们留下的悠久遗产。

此外，我们的祖先是打猎的人，我们是他们的后代。因此，我们喜欢看别人，甚至坐在电视机前几个小时无休止地观看我们同类的滑稽表演，但是当我们感到别人在看我们的时候就会立即感到紧张。事实上，科学家已经计算出，当陌生人盯着我们看大约4秒钟，我们就会感到紧张。大约10秒钟后，我们甚至会生气，对盯着我们看的人产生敌视。这就是为什么原来的可视电话会昙花一现。此外，如果每次上网前都不得不梳理一下头发，谁愿意呢？（今天，在几十年缓慢而痛苦的改进之后，电视会议才最终流行。）

今天，在线学习已经成为现实，但是大学里仍然挤满了学生。与教授一对一的当面请教，教授就可以给予学生因人而异的关照，回答每个人不同的问题，这比在线课程自然要优越得多。在申请工作时，大学学位也比在线毕业证书的分量重得多。

因此，在高技术（High Tech）和高接触（High Touch）之间仍然继续存在着竞争，即坐在椅子上看电视与走出去接触我们周围的事物之间的竞争。在这个竞争中，我们两者都需要。这就是为什么在这个网络空间和虚拟现实的时代，我们仍然有真人演出的剧院、摇滚音乐会，纸张和实地旅游。但是，如果有人拿出一张我们喜爱的歌星的免费照片和一张他的音乐会的门票，我们都会毫不犹豫地选择门票。

因此，这就是洞穴人原理（Cave Man Principle）：我们情愿两者兼得，但是如果要我们选择，我们会选择高接触，像我们的洞穴人祖先那样。

但是，这一原理还有一个必然的结果。回到20世纪60年代科学家创立因特网的时候，人们普遍相信的是它将演化为教育、科学和进步的论坛。结果呢，它很快就退化成今天这样一个为所欲为的“狂野西部”，让人们感到恐惧。实际上，这是可以预料到的。洞穴人原理的必然结果就是，如果你想预测将来人们之间的社会关系，只要想一想10万年前我们祖先的社会关系并将其放大10亿倍即可。这就意味着我们必须对传闻、社交网络和娱乐活动加以安全防护。在部落中快速传播信息的基本方法是传言，特别是有关部落头领和扮演各种角色的人物的传言。置身传言圈子之外的人往往无法生存，他们的基因也就无法遗传下来。今天，一种由明星驱动的文化正方兴未艾，我们在杂货店的收银台旁仍然能够看到传闻热的现象——书架上摆满了各种有关明星传闻的杂志。唯一不同的是，部落闲谈的规模被大众媒体极度放大了，并且在几分之一秒的时间里就能够绕地球很多次。

社会网络站点（Web sides）的突然增殖，使年纪轻轻、娃娃脸的企业家几乎一夜之间变成了亿万富翁，这一现象让许多分析家始料不及，但这同样也是这个原理的例子。在人类进化的历史上，维持大规模社交网络的人总能够依靠它得到对生存至关重要的资源、建议和帮助。

最后，娱乐业将会爆炸式地增长。有时候我们不想承认它，但是我

们文化的一个主要部分却是建立在娱乐之上的。我们的祖先打猎归来之后，总会让自己放松和自娱自乐。这不仅对加强团结很重要，对建立个人在部落中的地位也很重要。毫无疑问，娱乐的基本形态——跳舞和唱歌，在动物界也是至关重要的，这是向异性展示健康体魄的方式。当雄鸟唱着美丽、悦耳的歌曲、展示其奇异的交配舞姿时，它的主要目的就是向异性证明它是健康的、身体是健全的，没有寄生虫，并且拥有值得传给后代的基因。

艺术创作不仅是为了娱乐，我们的大脑处理大部分信息的方式都是通过各种象征性的符号完成的，因此艺术创作对大脑的发育也起着重要的作用。

因此，除非我们从遗传上改变我们的基本个性，否则我们就可以预言：娱乐、小报杂谈和社交网络在将来只会增加，不会减少。



科学是一把双刃剑

我曾经看过一部电影，它永远改变了我对将来的态度。这部电影名叫《惑星历险》（*Forbidden Planet*，又译《禁忌星球》或《被遗忘的行星》），是根据莎士比亚的戏剧《暴风雨》（*The Tempest*）拍摄的。在这部电影中宇航员遇见了远古文明，值得称赞的是，这种文明早于我们数百万年前兴盛。他们当时已经取得了技术上的终极目标：无须任何装置就能产生无限的能量，也就是说，他们靠心力就能获得做任何事情的能量。他们的思想像自来水一样流入巨大的热核发电厂，这个工厂深深地埋在他们那个行星的内部，将他们的每一个要求变成现实。换句话说，他们拥有上帝的能力。

我们也将拥有类似的能力，但是却不需要等上几百万年。我们只需要等一个世纪。我们已经可以在今天的技术中看到它的种子。但是，因为这种神力最终淹没了这个远古文明，所以《惑星历险》又是一个有关道德的故事。

当然，科学是一把双刃剑；它解决多少问题也会制造出多少问题，但总是在一个更高的水平上。在今天的世界上有两个相互竞争的倾向：一个是创造地球文明，它是相互容忍的、科学的和繁荣的；但是另一个则制造混乱和无知，旨在破坏我们的社会结构。我们现在同样有宗教主义者、原教旨主义者和我们祖先留下的非理性感情，但不同的是我们也

有了原子武器、化学武器和生物武器。

将来，我们将从被动的自然现象的观察者变成大自然的导演，变成大自然的主人，最终成为自然的保护者。因此，让我们希望我们能够智慧地和镇定地挥舞这把科学宝剑，驯服我们遥远过去的荒蛮。

现在，让我们开始遐想穿越下一个100年的科学创新和发现之旅，这些都是正在把这一切变成现实的科学家们告诉我们的。我们将领略计算机、无线电通讯、生物技术、人工智能和纳米技术的快速发展。毫无疑问，这些发展将完全改变人类文明的未来。

科学是这样
决定人类的命运
和改变**2100**年
我们的日常生活

1．计算机的未来　智力胜过物质

世界无边，人的认识有限。

——亚瑟·叔本华（Arthur Schopenhauer）

悲观主义者决不会发现星球的秘密，不能航行到未知的大陆，也不能为人类的灵魂打开一个新的天堂。

——海伦·凯勒（Helen Keller）

大约20年前，我坐在马克·维瑟（Mark　Weiser）在硅谷的办公室中，听他解释他对未来的看法，这一切仍历历在目。他用手做着手势，激动地告诉我一个将会改变世界的新革命将要发生了。维瑟（Weiser）是计算机精英的一分子，在施乐公司的帕洛·阿尔托研究中心（Xerox PARC）工作〔帕洛·阿尔托研究中心（Palo Alto Research Center），它首先倡导了个人计算机、激光打印机、有图形使用界面的窗口类型的结构〕，但他是一个喜欢独立的人，一个挑战传统智慧的提倡打破旧习的人，也是一个疯狂的摇滚乐的成员。

回到那个时候（大约一代人的寿命之前），个人计算机还是一件新的事物，刚刚开始进入人们的生活，那个时候人们开始慢慢热衷于购买大的、笨重的台式计算机，以便进行电子数据表的分析和做一些文字处理。因特网对像我这样的科学家仍然在很大程度上是一个陌生的王国，它以一种神秘的语言为同行的科学家建立方程式。放在桌上的这个盒子，冷冰冰地严厉地注视着你，对于它会不会使人类的文明丧失个性曾有着激烈的争论。甚至政治分析家威廉· F.巴克利（William F.Buckley）也不得不捍卫文字处理，因为一些知识分子咒骂它，甚至拒绝碰计算机，把它叫做无教养的工具。

就是在这个争论的时代，维瑟首先提出了“到处都有计算”的说法。他了解了很久以前的个人计算机，预测计算机的芯片有一天会变得如此之便宜，以致在我们周围的环境中到处都有芯片——在我们的衣服里、家具里、墙上，甚至我们的身上。并且，这些芯片将与因特网连接，共享数据，使我们的生活更愉快，监测我们的愿望。

对于那个时代，维瑟的梦想是太古怪了，甚至是荒谬的。大多数的个人计算机还很贵，甚至还没有连接到因特网上。因此几十亿个小芯片有一天会像自来水一样便宜的想法被认为是精神病。

那时候我问他，为什么他这么肯定会有这场革命。他冷静地回答说，计算机的能力是呈指数增长的，还看不见何时能终止。他的意思是说这只是个时间问题。（很遗憾，他没有活到他所说的革命变为现实，他在1999年死于癌症。）

维瑟所预言的梦想背后的驱动源泉是某种被称做摩尔（Moore）的定律，一个驱动计算机工业50多年发展的大拇指定律，像钟表一样设定了现代文明发展的步伐。摩尔定律（Moore's law）只是说计算机的能力每18个月翻一番。这是英特尔（Intel）公司奠基人之一，戈登·摩尔（Gordon Moore）在1965年首先说的。这个简单的定律帮助实现了世界经济的革命，产生了惊人的新财富，不可逆转地改变了我们的生活方式。当你绘制计算机芯片的下落的价格和它们的速度、处理能力和存储能力的快速进展时，你会得出一条回到50年前的引人注目的直线。（这是画在对数曲线上的。事实上，如果你延伸这条线，将真空管技术和手摇的加法器包括进去，这条线就会延伸到100年前的过去。）

指数式增长（exponential growth）通常难以领会，因为我们大脑的思维是线性的。它是逐渐变化的，因此有时根本经受不了改变。但是，经过几十年时间，它完全改变了我们周围的一切。

根据摩尔定律，每一个圣诞节你的新的计算机游戏的功能几乎为去年圣诞节时的2倍（按照晶体管的数量）。此外，当这一年过去以后，这个增加的功能又成为纪念碑。例如，当你收到用邮件发来的生日贺卡时，它通常会对你唱“生日快乐”。最显著的是，这个芯片的计算能力比1945年所有盟军的计算能力更大。也许希特勒、丘吉尔或罗斯福否决了获得这样的芯片。但是我们用这些芯片做什么呢？在生日之后，我们把贺卡和芯片扔掉了。今天，你的手机的计算功能比1969年美国宇航局（NASA）的所有计算能力都大，那时它将两名宇航员送到了月球上。视频游戏消耗大量计算机的功能模拟三维图像，需要计算机的功能比上一个10年的大型主机还要大。今天的索尼（Sony）游戏站造价300美元，它的能力相当于1997年造价100万美元的军事超级计算机。

当我们分析回到1949年那时的人们是怎样看待计算机的将来的，我们就会看出计算机能力呈线性增长和指数增长之间的差别，那时《大众力学》（*Popular Mechanics*）预测计算机的能力将会呈线形增长，随时间呈2倍或3倍增长。它写道：“今天的计数器，如埃尼阿克（ENIAC）装备了18000个真空管，重30吨，而将来的计数器也许只有1000个真空管，重1.5吨。”

（大自然母亲赞赏指数幂。一个单一的病毒能够劫持一个人体细胞，迫使它产生几百个它的复制品。每一代增长100倍，只需要5代，一个病毒就能产生100亿个病毒。毫不奇怪，一个病毒仅在大约一周的时间就能感染有着万亿个健康细胞的人体。）

不仅是计算机能力的数量增长，这个能力传递的方式也在迅速改变，对经济有着巨大的意义。每过10年我们就能看到这种进展。

- 20世纪50年代：真空管计算机像巨人一样安装在整个房间里，导线、线圈和钢铁像丛林一样布满了房间。只有军事上才有钱买得

起这些怪物。

- 20世纪60年代：晶体管代替了真空管计算机，大型计算机逐渐进入商业市场。
- 20世纪70年代：含有几百个晶体管的集成电路板产生了小型机，尺寸像大办公桌那样大。
- 20世纪80年代：含有几千万个晶体管的芯片使个人计算机能装在公文包中。
- 20世纪90年代：因特网将几万台计算机连接到一个单一的、全球的计算机网络中。
- 21世纪头10年：无处不在的计算将芯片从计算机中释放出来，让芯片分布到周围的环境中。

因此，老的范例（台式计算机或笔记本电脑内的单个芯片连接到计算机上）被新的范例代替（几千个芯片分散在每一件人造物品的内部，如家具、用具、图片、墙壁、汽车和衣服，彼此都能对话和连接到因特网上）。

当这些芯片插入器具之后，这些器具就奇迹般地改变了。当芯片插入打字机以后，它们就成了文字处理器。插入电话后就成了手机。插入照相机后就成了数字相机。弹子球游戏机就成了视频游戏机。留声机成了iPods。飞机成了无人驾驶机。每一次，工业都被彻底改革了，并获得了新生。最终，几乎我们周围的一切都变成智能的了。芯片将变得如此之便宜，其造价低于塑料袋，并将会代替条码。不能使它的产品智能化的公司将被其他能够智能化的公司排挤到市场之外。

当然，我们将仍会被计算机监视器所环绕，但这些监视器将类似墙纸、图片框或家庭照片，而不是计算机。想一想今天装饰我们房间的所有图片和照片；想一想每一件都是活生生的、移动的和连接到因特网上的。当我们走到外面时，我们看到图片在动，因为移动图片的价格和静止图片的一样低。

计算机的命运，像其他的众多技术，如电、纸、自来水一样变得看不见了，消失在我们生活的结构中，到处都是，无处不在，无声地、无缝地执行我们的愿望。

今天，当我们走进一个房间时，我们会机械似的找电灯的开关，因为我们认为墙壁是电气化的。将来，我们进房间要做的第一件事是找因特网的入口，因为我们认为房间是智能的。正如小说家马克斯·弗里希（Max Frisch）曾经说过："技术是如何安排我们不得不经历的世界的关键。"

摩尔定律也让我们能够预测最近的未来计算机的演变。在未来的10年，芯片将与超级敏感的传感器结合，使我们能够检测疾病、事故和紧急事件，在失去控制之前提醒我们。在一定程度上，它们能识别人的声音、面孔和用通常的语言谈话。它们将能够创建我们今天只能梦想的整

个虚拟世界。大约在2020年，芯片的价格将跌落到大约一分钱一片，相当于废纸的价格。那时将有几百万芯片分布在我们的周围，默默地执行我们的命令。

最终，“计算机”（*computer*）这个单词本身将从英语语言中消失。

为了讨论科学和技术将来的进步，我把每一章分成三个时期：近期（今天—2030年），中期（2030—2070）和远期（2070—2100）。这个时间期限仅仅是大致的，但它们表示了这本书所描述的各种倾向的时间框架。

到2100年，计算机能力的迅速发展将给予我们曾经崇拜的神话中神那样的能力，使我们靠纯粹的思想就能控制周围的世界。像神话中挥挥手或点点头就能移动物体和改造生命的神一样，我们也能靠我们的心力控制周围的世界。我们将持续地与分布在环境中、能默默执行我们命令的芯片保持心力的接触。

我记得电影《星际迷航》中有一段情节很有趣，“进取”号（*Enterprise*）星际飞船的船员飞过希腊神居住的行星。站在他们前面的是高大的阿波罗神，这个巨大的身影用神一样的技艺迷惑和淹没了船员。23世纪的科学无法战胜几千年前古希腊时代统治天堂的神。但是一旦船员们从初始遇到希腊神的震惊中恢复过来，他们很快认识到阿波罗神一定有一个能量的来源，阿波罗一定是在智力上与执行他的命令的中心计算机和能量工厂接触的。一旦船员们找出和破坏了能量供给，阿波罗就化为普通的凡人了。

这只是一个好莱坞的故事。然而，通过扩充现在实验室做的具有根本性的发现，科学家能够预想到有一天也可能利用心灵感应术控制计算机，让它供给我们这位阿波罗神的能量。

近期（今天—2030）



因特网眼镜和隐形镜片

今天我们可以通过计算机和手机与因特网通信。但是在将来，因特网将无处不在——在墙壁的屏幕上、在家具里、在广告牌上，甚至在我们的眼镜上和隐形镜片里。我们眨一下眼就上线了。

有几种方法可以把因特网放在镜片上。图像可以通过我们眼镜的透镜直接从我们的眼镜反射进入我们的视网膜。也可以像小的珠宝商的透镜那样贴在眼睛的眉框上。在凝视眼镜时就看到了因特网，就好像看电影屏幕一样。可以通过无线连接用握在手里的控制计算机的设备管理它。也可以简单地在空中移动手指控制图像，因为当我们挥舞手指时，计算机能够识别手指的位置。

例如，从1991年开始，华盛顿大学的科学家研究如何完善虚拟的视网膜显示（VRD），在这个虚拟的视网膜上红色、绿色和蓝色激光直接照在视网膜上。视野120度，分辨率1600×1200像素，虚拟视网膜显示可以产生灿烂的、活生生的图像，堪与在剧场看到的移动图像相比。图像可以利用头盔、护目镜或眼镜产生。

回到20世纪90年代，我有一个机会试戴这些因特网眼镜。它是麻省理工学院（MIT）媒体实验室（Media Lab）的科学家早期的产品。看上去像一对普通的眼镜，只是在镜片的右手角贴了一个长约1/2英寸（1.27厘米）圆柱形的透镜。我可以没有任何困难地透过眼镜看东西。但是如果我拍一下眼镜，这时一个小透镜落到我的眼前。凝视这个透镜，我可以清楚地辨认出整个计算机屏幕，看上去仅比标准的个人电脑的屏幕小一点。我十分惊奇怎么这么清楚，几乎就像屏幕盯着我的脸一样。然后，我握着一个手机大小的设备，有一个按钮在上面。按这个按钮就可以控制屏幕上的光标，甚至可以输入指令。

在2010年，我主持科学频道专题栏目，我旅行去佐治亚州的本宁堡（Fort Benning），核实美军最近的“作战用的因特网”，叫做“陆地勇士”。我戴上特殊的盔甲，在它的侧面贴有小的屏幕。我用手指轻轻碰一下我眼睛上的屏幕，突然我看到了令人吃惊的图像：整个战场都标上了友军和敌军的位置。引人注目的是，“战争的烟雾”散开了，全球定位系

统（GPS）传感器清楚地确定了所有军队、坦克和建筑物的位置。按一下按钮，图像就很快改变了，我可以用因特网来处置战场，还有有关天气、友军和敌军部署、战略和战术的信息为我所用。

更加高级的是，将芯片和液晶显示（LCD）插入塑料，就可能直接通过隐形眼镜看到因特网。巴巴克·A.帕维兹（Babak A.Parviz）和他在西雅图华盛顿大学的团队已为因特网隐形眼镜奠定了基础，设计了原型，也许最终将改变我们连接因特网的方式。

他预见，这个技术的一个直接应用也许会帮助糖尿病患者调节葡萄糖的水平。透镜将显示他们体内状况的直接结果。但这只是开始。最终，帕维兹预想有一天我们将能够从因特网下载任何电影、歌曲、环球网站点或信息到我们的隐形眼镜中。在我们的透镜中将有一个完整的娱乐系统，在我们躺下休息时欣赏喜欢的电影。通过我们的透镜也可用它直接与办公室的计算机相连。我们可以在舒适的沙滩与办公室进行远程电信会议，只要眨眨眼睛。

插入某种模式识别软件到因特网眼镜上，也可以识别物体，甚至某人的脸。有些软件程序已经能识别预先编制程序的脸，精度在百分之九十。与你讲话的人，不仅他的名字还有他的传记都可以在讲话当中闪现在你眼前。在会议上，当你遇见一个认识的人又想不起他的名字时，就可以避免尴尬。在鸡尾酒宴会上，当宴会上有很多陌生人，有些人很重要，但你不知道他们是谁的时候，这种功能也能起重要作用。在将来，你能够识别陌生人，甚至在你和他们讲话时知道他们的背景。〔这有些像在《终结者》（*The Terminator*）里的机器人所看到的世界。〕

教育系统也可能因此改变。在将来，参加期末考试的学生将能够通过他们的隐形眼镜默默地扫描因特网搜索问题的答案，对于经常依靠死记硬背的老师这会造成一个明显的问题。这意味着教育应强调思维和推理能力，而不应强调死记硬背。

也可以在你的眼镜镜框上装一个小的视频相机，可以对周围拍照，然后直接把图像播放到因特网上。周围世界的人可以分享你的经历，好像他们也经历了一样。无论你看到什么，成千上万的人也能看到。父母将知道儿女在做什么。情人在分开时可以分享感受。参加音乐会的人可以把他们的激动传给全世界的歌迷。检查员将能访问远离的工厂，然后播送活生生的图像到老板的隐形眼镜上。（或妻子去商店购物，而丈夫提出建议要买什么。）

帕维兹（Parviz）已经能够将计算机芯片缩小到可以放到隐形透镜的聚合物薄膜上。他成功地将一个发光二极管（LED）放进隐形透镜，现在正在研制的隐形透镜含有8×8排列的发光二极管。他的隐形透镜可以靠无线连接来控制。他声称：“这些构件将最终包含几百个发光二极管，这些发光二极管将在眼前形成图像，如单词、图表和照片。很多硬件是半透明的，因此戴上它可以到处行走，不会碰到障碍或失去目标和

方向。”他的目标是若干年后制造一个含有3600像素的隐形透镜，每个厚度不超过10微米（0.01毫米）。

因特网隐形透镜的一个优点是使用的能源很小，仅有百万分之几瓦，在能量要求上很有效，不会耗尽电池。另一个优点是眼睛和眼神经在某种意义上是人脑的直接延伸，因此我们能够直接进入大脑，而无须植入电极。眼睛和眼神经传送信息的速度超过高速因特网连接。因此，因特网隐形透镜也许是最有效的、最迅速的连接大脑的方式。

通过隐形透镜将一个图片照射到眼睛中仅比因特网眼镜复杂一些。一个发光二极管可以产生光的一个点，或一个像素，但是必须加一个显微透镜才能直接聚焦到视网膜上。最后出现的图像飘浮在离你大约2英尺（61厘米）的地方。帕维兹认为一个更高级的设计是使用微型激光发射一个超清晰的图像直接到视网膜上。采用芯片工业雕刻微小的晶体管的同样的技术，可以蚀刻同样尺寸的微小激光器，制造世界上最小的激光器。利用这种技术在原则上可以制造直径为大约100个原子的激光器。像晶体管一样，可以令人信服地在手指甲盖大小的芯片上塞满几百万个激光器。



无人驾驶汽车

在最近的将来，有可能在开着汽车的同时，靠隐形透镜在环球网上安全地冲浪。上下班再也不会是一件痛苦的家务杂事了，因为汽车自己会开。无驾驶员的汽车已经能够使用GPS将它们的位置定位在几英尺的范围内，驾驶距离可以超过几百英里。五角大楼国防部高级研究规划局（DARPA）发起一个竞赛，叫做DARPA大挑战，邀请实验室提交无人驾驶汽车参加跨越莫哈韦（Mojave）沙漠的比赛，奖金为100万美元。五角大楼国防部高级研究规划局继续它的长期的传统，资助危险的，但是具有远见性的技术。

（五角大楼项目的一些例子包括因特网，它原来的设计是想在核战期间和之后联系科学家和政府官员，还包括GPS系统，它原来的设计是为洲际弹道导弹导航。但因特网和GPS在冷战之后都失去原有的作用，交给了大众。）

在2004年，此竞赛面临一个尴尬的局面，没有一辆无人驾驶的汽车能够越过高低不平的旷野，没有一辆无人驾驶的汽车跨过终点线。但是

下一年，5辆汽车完成了一条更加艰险的路线。它们跑过的道路包括100个急转弯，3个狭窄的隧道和每一边都是悬崖峭壁的道路。

有些批评家说，机器人汽车也许能够在沙漠中行驶，但决不能在城市中间行驶。因此在2007年，五角大楼国防部高级研究规划局发起了一个更有雄心的竞赛，“城市挑战”（the Urban Challenge），在这项计划里，机器人汽车要完成一条令人折磨的60英里（96.56公里）的路线，要在6小时内跑完模拟的城市地区。汽车必须服从所有的交通规则，避开沿线的其他机器人汽车，通过4车道的交叉路口。6个队成功地完成了“城市挑战”，前三名得到的奖金分别为200万美元、100万美元和50万美元。

五角大楼的目标是到2015年完成美国三分之一的地面部队的自治。这是一项拯救生命的技术，因为近年来，美国的最大伤亡来自路边炸弹。在将来，很多美国的军车将根本没有驾驶员。但是对于消费者来说，按一下按钮自己就能行驶的汽车，意味着驾驶员可以工作、放松、欣赏风景、看电影或浏览因特网。

有一次，为了主持电视“发现频道”专题节目，我有机会亲自驾驶一辆这种汽车。它是一辆北卡罗来纳州立大学工程师修改的流线型的跑车，让它能完全自治。它的计算机有8台个人电脑的功率。钻进汽车对我来说有些困难，因为里面空间很窄。汽车内部到处都是完善的电气构件，堆在座位上和仪表盘上。当我握住方向盘时，我注意到它有一个特殊的橡胶电缆连接到一个小马达上。一台计算机通过控制这个马达可以转动方向盘。

在我发动、脚踏加速器、将车开到高速公路之后，我将开关拨到计算机控制位置。我的手离开方向盘，车就自动驾驶了。我对这部车有充分的信心，车的计算机通过方向盘上的橡胶电缆不断进行小的调整，开始的时候，看到方向盘和加速器的踏板自己在动，感到有些奇怪。就好像有一个看不见的魔鬼似的驾驶员在操作，但过了一会我就习惯了。事实上，在车上能放松，车自己能以超人的精确和技能行驶，后来成为了一种快乐。我可以坐在后面，欣赏车的驾驶。

无人驾驶汽车的核心是GPS系统，它允许计算机确定它的位置，精度在几英尺的范围内。（有时，工程师告诉我，GPS可以确定车的位置在几英寸范围内。）环绕地球轨道的32个GPS卫星发射特殊的无线电波，被汽车中的GPS接收器接收。每一个卫星的信号有些扭曲，因为它们环绕的轨道略有不同。这个扭曲叫做多普勒（Doppler）偏移。（例如，卫星向你移动时无线电波被压缩，离开你移动时无线电波伸展。）分析3个或4个卫星发出的无线电信号频率的偏离，车上的计算机就能精确地确定我的位置。

在车的挡泥板上还有雷达，因此可以感知障碍。这在将来是至关紧要的，因为每辆车在它检测到即将发生事故时都要自动采取紧急措施。

今天，在美国每年有4万人死于汽车事故。在将来，“汽车事故”（*car accident*）这个单词也许会渐渐从英语语言中消失。

交通堵塞也会成为过去的事情。中央计算机通过与每一辆无人驾驶汽车的通信能够追踪道路上每一辆的移动。然后，它可以容易发现高速路上的交通堵塞和瓶颈。在圣迭戈（San Diego）北部州际15号公路进行的一项试验，芯片放在道路上，因此中央计算机能够控制道路上的汽车。在交通堵塞的情况下，中央计算机将强制驾驶员让交通自由通行。

将来的汽车也能感知其他的危险。成千上万的人，由于驾驶员犯困，特别是在夜间或在漫长单调的旅行中，而在汽车事故中死亡或受伤。今天计算机能够聚焦在你的眼睛上，识别你变得昏昏欲睡的迹象。然后计算机的程序使它发出一个声音，把你叫醒。如果这样做失败了，计算机将接管汽车。计算机也能识别汽车上过量酒精的存在，减少每年发生的成千上万与喝酒有关的灾祸。

智能汽车的转换将不会立刻发生。首先，军事部门将配置这些车辆，在进行过程中制定操作指南。然后，机器人汽车将进入市场，首先出现在漫长的、乏味的州际间高速公路上。下一步，它们将出现在市郊和大城市，但是驾驶员将总是有能力在紧急情况下接管计算机。最终，我们会想，没有它们我们将怎样生活呀。



四壁墙幕

计算机不仅能够减轻上下班来回路上的紧张和减少车祸，它们也能够帮助我们与朋友和熟人联系。在过去，曾有人抱怨计算机革命使人失去人性，使我们孤独。实际上，它允许我们按指数幂扩大我们朋友和熟人的圈子。当我们孤独或需要陪伴时，你只需要在你的墙幕（wall screen）上布置一场桥牌游戏，和世界上其他孤独的人一起玩。当你需要帮助计划一个假期、组织一次旅行、发现一次约会，你也可以通过墙幕来完成它。

在将来，一个友好的面孔可能会首先出现在你墙上的屏幕上（你可以改变这个面孔使它适合你的口味）。你可以要它为你计划一次休假。它已经知道你的喜好，并将查看因特网，给你一份最可能选择的清单，价格还最好。

家庭聚会也可以通过墙幕举行。卧室的4个墙壁都有屏幕，这样你

就被你远方的亲戚的图像所环绕。在将来，也许一位亲戚不能出席一次重要的集会。代替的办法是，一家人聚集在墙幕周围，庆祝重新团聚，一部分是真实的，一部分是虚拟的。或者，通过你的隐形透镜你可以看到所有你心爱的人的图像，就好像他们真的在这里，尽管他们是在几千英里之外。（一些评论员曾评论说，因特网原来被五角大楼构思为是“男性的”，也就是说，它是与在战时控制敌人有关的。但是现在，因特网主要是“女性的”，是为了扩大人际范围和与别人接触的。）

电信会议将会被远程显示所代替，完全的三维图像和人的声音将出现在你的眼镜或隐形透镜里。比如，在开会时每个人将坐在桌子周围，而有些参加者将仅出现在你的透镜中。没有透镜，你会看到桌子周围的座位有一些是空的。有了透镜，你将看到坐在他们座位上的每个人的图像，就好像他们就在这里。（这意味着所有的参会者被类似的桌子周围的特殊相机录像，然后通过因特网发送过来。）

在电影《星际迷航》中，观众惊讶地看到在空中出现的人的三维图像。但是，利用计算机技术，在将来我们可以在隐现透镜、眼镜或墙幕上看到这些三维图像（3-D images）。

开始时，对着空房间说话可能会感到很奇怪。但要记住，在电话开始出现时，有人批评它，说是人们对着无实体的声音说话。这个批评是对的，但是今天人们不在乎对无实体的声音说话，因为它极大地增加了我们接触的范围和丰富了我们的生活。

这也会改变你的爱情生活。如果你感到寂寞孤独，你的墙幕将知道你过去的偏好和约会中你想要的人的身体情况和社会的特点，然后扫描因特网找到可能的搭配。并且，因为人们有时在他们的简介中说谎，作为一种安全措施，你的墙幕将自动扫描每一个人的历史以发觉在他的传记中的不实之言。



柔软的电子纸

纯平电视的价格曾经超过10000美元，仅仅在10年当中就降低了50倍。在将来，覆盖整个墙壁的纯平屏幕的价格也会显著下降。这些墙幕将是柔软的和超薄的，使用有机发光二极管（OLED）。这些有机发光二极管类似普通的发光二极管，不同的是它们是基于有机构件，可以布置在聚合物中，使它们成为柔软的。柔软屏幕上的每个像素连接到控制

光的颜色和强度的晶体管上。

亚利桑那州立大学柔软显示中心（Flexible Display Center）的科学家与惠普（Hewlett-Packard）和美军为完善这项技术已经一起工作。市场力将驱动这些墙幕的价格不断下降，最终达到普通墙纸的价格。因此在将来，在装饰墙纸时也可同时装上墙幕。当我们希望改变墙纸的模式时，我们只须按一下按钮。重新装饰就是这样简单。

这个柔软屏幕技术也可能会使我们如何与手提计算机的互相作用发生变化。我们不需要拖着沉重的笔记本电脑（heavy laptop computer）。笔记本电脑可能就是一张简单的有机发光二极管（OLED）薄片，可以叠起来放在钱包里。一个手机也可以含有一个能够拉开的柔软屏幕。然后，无须在手机的小键盘上紧张地输入，你可以把软屏幕拉开，想要多大有多大。

这项技术也使得个人计算机的屏幕可能是完全透明的。在最近的将来，我们可以盯着窗外，然后挥挥手，突然窗户就变成计算机屏幕，或成为任何想要的图像了。我们可以看到窗外几千英里以外的地方。

今天，我们可以把潦草书写的纸揉碎，然后扔掉。在将来，也许会有“揉碎的计算机”，它们没有自己的特殊身份。我们把它们揉碎，扔掉它们。今天，我们围绕计算机布置桌子和家具，它支配我们的办公室。在将来，台式计算机也许会消失，当我们从一个地方到另一个地方，从一间屋子到另一间屋子，从办公室到家，文件会随我们而走。这将给我们无缝连接的信息，任何时间、任何地点。今天，我们在飞机上可以看到几百位旅行者带着手提电脑，一旦到了旅馆，他们不得不和因特网相连；一旦回到家，不得不下载文件到台式电脑上。在将来，你决不需要到处拖着计算机，因为无论你在什么地方，墙、图画、家具都能连接到因特网上，甚至在火车或汽车里。〔“云计算”（Cloud computing），在这里你不需要为计算机付费，只需为计算时间付费，计算计费的装置就像水表、电表这些公共事业的早期例子那样。〕



虚拟世界

计算机无处不在的目标是将计算机引入世界：让芯片无处不在。虚拟世界的目的则相反：将我们放到计算机世界中。虚拟现实是首先由军事部门在20世纪60年代引进的，是一种利用模拟训练驾驶员和战士的方

法。驾驶员可以看着计算机屏幕和操纵操作杆练习在航空母舰甲板上着陆。如果发生核战争，将军和政治领导人可以从远距离在电脑空间秘密会见。

今天，由于计算机的能力呈指数扩展，人们可以生活在模拟世界里，在这里你可以控制一个化身（一个代表你的生动的图像），甚至恋爱和结婚。你也可以用虚拟的钱买虚拟的东西，然后把虚拟的钱转变为真实的钱。最普及的一个网站叫“第二生命”（Second Life），到2009年注册了1600万人。那一年，有若干人利用“第二生命”一年赚了100万美元。（然而，你赚取的利润美国政府是要收税的，因为它认为这是真正的钱。）

虚拟现实已经是视频游戏的主要成分。在将来，随着计算机能力的扩展，通过你的眼镜或墙纸，你也能够访问虚幻的世界。例如，你想去购物或访问一个具有异国风味的地方，你可以首先通过虚拟现实来完成它，操纵计算机屏幕，就好像你真的在那儿。用这种方式，你也能够在月球上行走，在火星上休假，在异国购物，参观任何博物馆，自己决定要去哪儿。

在某种程度上，你也能够感觉和触摸电脑空间的物体。这是所谓的“触觉技术”（haptic technology），使你感到计算机产生的物体的存在。它首先是不得不用远距离控制的机器人手臂处理高度放射性物质的科学家研制的，还有军事部门，它希望其飞行员在飞行模拟中能感到操纵杆的阻力。

科学家为模拟接触的感觉制造了一个附在弹簧和齿轮上的设备，当你用手指向前按这个设备时，该设备向后推，模拟压力的感觉。当你移动手指摸桌面的时候，这个设备模拟硬桌面的感觉。用这种方式，你可以感觉在虚拟现实护目镜中看到的物体的存在，实现你是在别的地方的幻觉。

为产生纹理的感觉，另一个设备可使你的手指经过含有几千个小点的表面。当你的手指移动时，每一个小点的高度由计算机控制，因此可以模拟硬表面、软布或粗砂纸的质地。在将来，戴上特殊的手套就能得到与各种物体和表面接触的真实感觉。

对于在将来训练牙医这也是非常重要的，因为牙医必须能够感觉在进行精巧手术时的压力，并且患者可能是一个三维的全息图像。它也让我们更加靠近《星际迷航》系列电视中的全息甲板，在这里我们可以在虚拟世界漫步，能够接触虚拟的物体。当你在空房间里漫步时，在你的护目镜或隐形透镜上可以看到奇异的物体。当你伸手去抓它们时，一个触觉设备从地板升起，模拟你要接触的物体。

当我为“科学频道”访问新泽西州罗恩（Rowan）大学的洞穴自动虚拟环境（CAVE）时，我有机会亲自见证这些技术。我进入一个空房

间，被4墙所环绕，每一面墙被投影仪照亮。三维图像在墙上闪烁，给出进入另一世界的幻觉。在一个演示中，我被巨大的、凶残的恐龙所围绕。通过移动操纵杆，我可以骑在雷克斯暴龙（*Tyrannosaurus rex*）的背上，甚至伸进它的嘴里。之后，我访问了马里兰州的阿伯丁试验场（Aberdeen Proving Ground），美军在这儿设计了最先进的全息甲板。传感器放在我的头盔上和背包里，计算机知道我身体的精确位置。然后，我在全方位的踏车上行走，这是一个完善的踏车，使你可以在同一位置向任何方向行走。突然，我到了战场，躲避敌人狙击手射出的子弹。我可以向任何方向跑，躲到任何一条巷子里，在任何一条街上疾跑，并且屏幕上的三维图像立刻改变了。我甚至可以躺平在地板上，并且屏幕也相应改变。我可以想象，在将来你也能够经历完全投入的感觉，例如参加与异国飞船的激烈战斗、从狂暴的怪兽的追逐下逃走或在荒岛上嬉戏，所有这一切都是在你舒适的卧室中实现的。



近期的医疗

去医院看病完全改变了。为了做定期检查，当你和“医生”讲话时，这个医生很可能是一个机器人软件程序出现在你的墙幕上，它可以正确地诊断多至95%的疾病。这个“医生”可以看上去像一个人，但它实际上是一个活生生的计算机编制的图像，问一些简单的问题。这个“医生”有你的基因完整记录，将推荐一个药物治疗方案，将你所有的基因危险因素考虑在内。

要诊断问题，“医生”将要对你进行整个身体的探察。在原始的《星际迷航》电视系列中，大家吃惊地看到一个叫做“三录仪”（the tricorder，又称三线磁带回线自动记录器）的设备，能够瞬间诊断任何疾病和看透你的身体。但是你不需要等到23世纪才有这个未来的设备了。重几吨和整个房间那样大的磁共振成像（MRI）机器已经小型化到1英尺（30.5厘米），最终将会小到手机那样大。在你身上走一遍就能看到内部的器官。计算机将处理这些三维图像，然后给出诊断。这个包含基因芯片的探测器也能够在几分钟内确定各种类型基因疾病（DNA损伤）的存在，甚至在肿瘤形成前几年发现癌细胞。

当然，很多人不愿意去医院。但是在将来，你的健康将默默地毫不费力地一天被监测好几次，而你自己却不知道。厕所、洗澡间和衣服里将有DNA芯片默默确定在你的身体里的仅仅几百个细胞里是否有癌细胞群体在生长。有更多的传感器藏在洗澡间和衣服里，比今天现代医院或

大学里还要多。例如，只要在一个镜子上吹一下，就能检测叫做人体抑癌基因（p53）的变异蛋白质的DNA，它与50%的所有通常的癌细胞有关。这意味着，“肿瘤”（*tumor*）这个英文单词将会逐渐从英语语言中消失。

今天，如果你在偏僻无人的道路上发生严重车祸，你可能会流血过多而死亡。但是在将来，你的衣服和汽车在一出现外伤时会自动采取行动，叫救护车，找出你的位置，下载你的整个医疗历史，而这一切你却没有察觉。在将来，孤独地死去是很难的。你的衣服能够通过编织在衣服里的小芯片感知你的呼吸、心跳，甚至脑电波的任何不规则变化。在你穿衣服时你就上网了。

今天已经可能把一个芯片和电视照相机、无线电一起放在一个阿司匹林药片大小的药丸里。当你将药丸吞下后，此“智能药丸”能够拍摄食道、肠道的电视图像，然后将无线电信号发送到附近的接收器。（这赋予“Intel在内部”口号新的意义。）用这种方法，医生就可以不用结肠镜拍摄病人肠道的图像和检测癌症，用结肠镜要将6英尺（1.83米）长的管插到大肠中，引起很多不便。这些微观设备也逐渐减少了切开皮肤进行手术的需要。

这仅仅是计算机革命如何影响我们健康的一个例子。在第3章和第4章将更详细讨论医学革命的细节，讨论基因治疗、克隆和改变生命的跨度。



生活在神话故事中

因为智能计算机将非常便宜并广泛散布在环境中，有些未来学家认为将来的世界看上去会像神话故事一样。如果我们有上帝的能力，我们所居住的天堂就会像幻想世界一样。例如，因特网的将来将变成《白雪公主》中的魔镜。我们将说“镜子，墙上的镜子”，一个友好的面孔就出现了，使我们能够获取这个行星的智慧。将芯片放在玩具里，如童话故事中的主角，想变成真孩子的皮诺奇，就能使它们有智能。像皮诺奇一样，我们对风和树说话，它们将会回答。我们会认为这些物体是智能的，我们能够和它们讲话。

因为计算机能够找出让人们衰老的很多基因，我们可能像希腊神彼特·潘（Peter Pan）那样永远年轻。我们将能够减缓或逆转衰老的过程，

像梦幻岛（Neverland）不想长大的孩子那样。扩展的现实将给我们幻想，像灰姑娘那样，能够骑在皇家马车的幻想球上，幽雅地与漂亮的王子跳舞。（但是，在半夜，扩展现实的眼镜关闭了，我们回到真实世界。）因为计算机揭示控制我们身体的基因，我们将能够重新设计我们的身体、替换器官、改变外表，甚至在遗传水平上实现这些改变，像《美女与怪兽》（*Beauty and the Beast*）中的怪兽那样。

有些未来学家甚至害怕，这也许会让我们回到中世纪的神秘中，那时的很多人相信，有很多看不见的幽灵栖息在他们的周围的每件东西上。

中期（2030—2070）



摩尔定律的结束

我们不得不问这个计算机革命将持续多久？如果摩尔定律的正确性再持续50年，很可能计算机会很快超过人脑的计算能力。到这个世纪的中期，一个新的动态将发生。正如乔治·哈里森（George Harrison）曾经说过："所有的事情都一定会终止。"甚至摩尔定律也一定会结束，有了它计算机能力的显著的提高推动了过去半个世纪经济的增长。

今天，我们理所当然地认为，事实上相信它是我们生来就有的权利，计算机产品的能力和复杂性会日益增加。这就是为什么我们每年买新的计算机产品，知道它的能力几乎是去年样式的2倍。但是如果摩尔定律崩溃了，并且每一代计算机产品的功能和速度大约与去年的相同，我们还会买新计算机吗？

因为芯片是放在各种产品里的，这对整个经济可能产生灾难性的影响。因为整个工业会停滞不前，上百万人可能失去工作，经济可能陷入困境。

多年前，当物理学家指出摩尔定律必然崩溃时，在传统上，工业一再轻视我们的主张，暗示我们是叫喊的狼。他们说，摩尔定律的结束被预测了这么多次，因此他们完全不能相信。

但是不会再有了。

两年前，我给微软在他们华盛顿州西雅图总部的主要会议上定了基调。3000个顶尖的微软工程师在听众席中等待听我讲计算机和无线电通讯的未来。我凝视巨大的人群，我可以看到年轻的、热情的工程师的脸，是他们编制程序使我们桌上和膝盖上的计算机能够运转。我直言不讳地谈论摩尔定律，讲到工业必须为它的崩溃做好准备。要是在10年前，我也许会遇到嘲笑或讥讽。但是这一次我只是看到人们在点头。

因此，摩尔定律的崩溃是一件具有国际重要性的事情，涉及万亿美元的风险。但是它究竟怎样结束、什么来代替它、依靠什么物理定律呢？对这些物理问题的回答将最终动摇资本主义的经济结构。

要懂得这种情况，重要的是要认识计算机革命显著的成功是依赖若干物理原则。首先，计算机有着令人眼花缭乱的速度是因为电子信号以接近光的速度，宇宙中的终极速度传播。在一秒钟之内光线环绕地球7次，或到达月球。电子也容易到处移动，并且松散地被原子束缚（只要梳理一下头发、在地毯上行走或者洗衣服，电子就可以跑出来，这就是为什么我们有静电附着）。松散的束缚和电子巨大的速度相结合，使我们能以炫目的速度发送电子信号，这就产生了过去这个世纪的电子革命。

第二，在激光束中能放置的信息量实际上是没有限制的。因为光波的振动比声波的振动要快得多，所以承载的信息要比声波巨大得多。（例如，想象一条伸长的绳子，让它的一头快速振动。你摇动一端的速度越快，沿绳子发送的信号就越多。当振动加快，也就是频率加快时，放进一个波里的信息量就会增加。）光是一个每秒钟振动大约10^{14}次的波（也就是1的后面14个零）。传递一位信息（1或0）需要很多次循环。这意味着一根光纤电缆在单一的频率下大约能承载10^{11}位的信息。把很多的信号塞满到一根单一的光纤中，然后把这些光纤集束成光缆，传递信息的位数就可以增加。这意味着，增加光缆中通道的数目，然后增加光缆的数目，传递信息的数量几乎不受限制。

第三，最重要的是计算机革命是由晶体管小型化驱动的。一个晶体管是一个控制电流流动的门，或一个开关。如果把电路比做管道，那么晶体管就像控制水流的阀门。只要拧一下阀门就能控制大量的水，同样，晶体管能使小的电流控制更大的电流，因此放大了它的功率。

这个革命的核心是在指甲盖大小的芯片上可以含有几亿个晶体管的计算机芯片，在笔记本电脑中的芯片内部的晶体管只能在显微镜下才能看到。这些难以想象的微小晶体管是采用加工T恤衫同样的设计方式制作的。

T恤衫的设计是批量生产的，先制作一个具有想要创作的模式轮廓的模板。然后将模板放在布上，喷上涂料。仅仅在模板空隙的地方涂料才能渗透到衣服上。将模板拿开后，就有了T恤衫模式的完美的复制品。

同样，做一块模板，含有几百万个晶体管的复杂轮廓。将此模板放在含有很多层硅的对光敏感的晶片上。然后将紫外线聚焦在模板上，紫外线穿过模板的间隙使硅晶片曝光。

然后将晶片放在酸中浸泡，蚀刻电路的轮廓，产生复杂的几百万个晶体管的设计。因为晶片含有很多导电和半导电的层，酸浸蚀晶片的深度和模式不同，因此可以产生极其复杂的电路。

为什么摩尔定律会不断地增加芯片的能力？一个理由是因为紫外线的波长可以调整到越来越短，这就可能使得在硅芯片上蚀刻的晶体管越

来越小。因为紫外线的波长可小到10纳米（1纳米是1米的十亿分之一），这意味着能够蚀刻的最小晶体管直径大约30个原子宽。

但是这个过程不能永远继续下去。到达某一点，用这种方式蚀刻原子尺寸的晶体管实际上是不可能的。你也可以大约计算一下摩尔定律将最终在什么时候崩溃：当晶体管的尺寸最终为单个原子尺寸的时候。（图1）

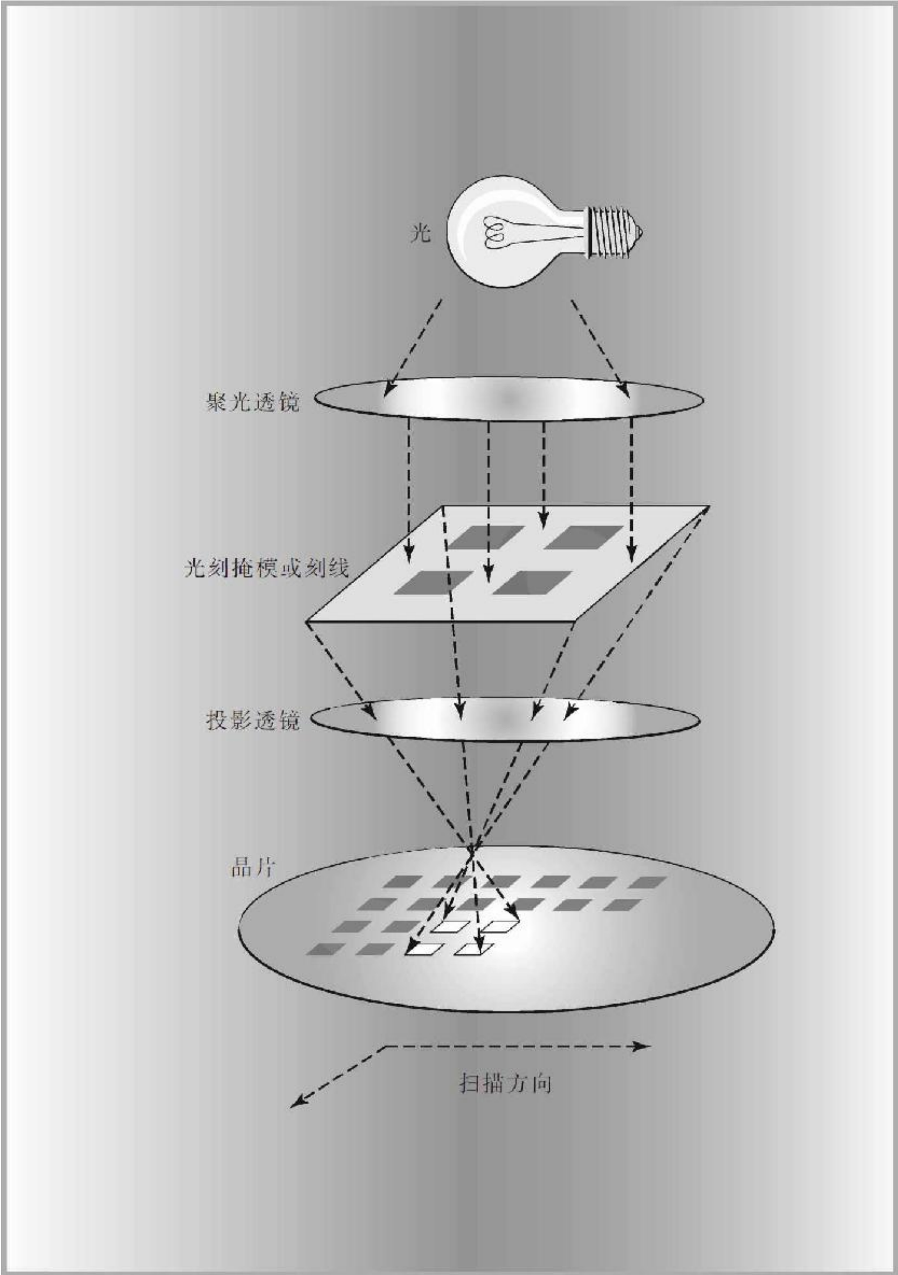


图1　摩尔定律的终结。芯片制作的方法与T恤衫的设计相同。不是喷涂料在模板上，而是将紫外线集中照射在模板上，在硅层上烧成一个图像。然后用酸蚀刻这个图像，产生上亿个晶体管。在进行到原子尺度时，这种方法就有了极限。硅谷将会变成荒芜的地区吗？

大约2020年，或之后不久，摩尔定律将渐渐不再成立，硅谷将会慢慢地变成一片废墟，除非有新的技术代替。根据物理定律，硅谷时代将最终结束，我们将进入后硅谷时代。晶体管变得如此之小，以致原子物理学或量子理论将取而代之，并且电子将会从导线中渗漏出来。例如，计算机内最薄的层大约只有5个原子直径那么厚。在这一点，根据物理定律，量子理论将起作用。海森堡（Heisenberg）的测不准原理（uncertainty principle）说，不能同时知道任何粒子的位置和速度。这听上去也许违反直觉，但是在原子级别上确实不能知道电子在哪，因此它决不会完全被禁锢在超薄的导线或薄层中，它一定会渗漏出来引起短路。

我们将在第4章，在分析纳米技术时更详细讨论这个问题。在这一章的其他部分，我们假定物理学家已经发现硅的后继者，但是计算机能力的增长比过去要慢得多。计算机的能力很可能继续以指数增长，但翻一番的时间不是18个月，而是很多年。



混合的真实现实和虚拟现实

到本世纪中期，我们将生活在真实现实和虚拟现实的混合之中。在隐形透镜和眼镜中将同时看到虚拟的图像叠加在真实世界中。这是日本奎夫（Keio）大学多知进（Susumu　Tachi）和很多其他人的看法。他设计了特殊的护目镜，能将幻想和现实混合在一起。他的第一个项目是让物品消失在稀薄的空气中。

我访问了东京的多知（Tachi）教授，见证了他的一些混合真实现实和虚拟现实的非凡的试验。一个简单的应用是使物体消失（至少是在护目镜中）。首先，我穿上特殊的浅棕色的雨衣。当我伸展手臂时，它像一个大帆。然后一架照相机聚焦在雨衣上，第二架照相机拍摄我背后的有公共汽车和小汽车在路上跑的风景。瞬间之后，计算机将这两个图像融合在一起，这样我背后的图像出现在我的雨衣上，好像在屏幕上一样。如果我窥视一个特殊的透镜，我的身体消失了，只剩下小汽车和公共汽车的图像。因为我的头在雨衣上方，看上去我的头好像飘在半空中，没有身体，就像哈里·波特（Harry　Potter）穿着他的不可见的斗篷那样。

然后多知教授拿了一些特殊的护目镜给我看。戴上它们，我可以看见真实的物体，然后又让它们消失。并不是真的看不见，只是戴上能融合两种图像的护目镜才能做到。然而，这只是他宏伟计划的一部分，这个计划有时被叫做“扩展的现实”（augmented reality）。

到了本世纪中期，我们将生活在能够融合真实世界和计算机图像的无所不能的电脑空间里，这可以从根本上改变工作场所、商业、娱乐和我们的生活方式。扩大的现实会对市场产生直接的结果。第一项商业应用也许是使物体变得不可见，或使不可见的变成可见的。

例如，如果你是一个飞行员或一位司机，你将能够看到周围360度，甚至你的脚下，因为你的护目镜或透镜使你能看透飞机或汽车的墙壁。这将消除盲点，而它往往是造成事故和死亡的原因。在战斗飞行中，喷气机飞行员能够追击敌机，不管它跑到哪，甚至在他们自己的下面，就好像你的喷气机是透明的一样。驾驶员可以看到所有方向，因为小照相机将监视360度，并将图像发送到他们的隐形透镜中。

如果你是宇航员在火箭飞船外面进行修复工作，你将发现这是有用的，因为你能看透墙壁、隔板和火箭的船体。这也可以拯救生命。如果你是建筑工人进行地下修复，在一大堆导线、管道和阀门中，你能精确地知道它们是怎样连接的。在天然气或蒸汽爆炸，维修和重新连接藏在墙壁后面的管道时可以证明这是至关重要的。

同样，如果你是一个采矿者，你可以透过土壤看到地下的水或油的储藏。卫星和飞机用红外线和紫外线拍摄的旷野的照片可以分析，然后送入隐形透镜，给出该场地的三维分析和地面的下面有什么。当你行进在荒芜的旷野里，你就可以通过透镜“看”到有价值的矿藏。

除了使物体不可见，还能做相反的事情，让不可见的变成可见的。

如果你是建筑师，你可以绕着空屋子走，忽然“看见”你设计的建筑物的三维图像。当你漫步在每个房间的周围，你的设计图纸上的设计跳到你的眼前。空房间将突然变活了，家具、地毯、墙上的装饰，让你在实际建造它们之前就看到你创作的三维图像。只要移动手臂，就能创作新的房间、墙壁和家具。在这个扩展的世界里，你有魔术师的能力，挥一下手就能创造你想要的物体。（图2）

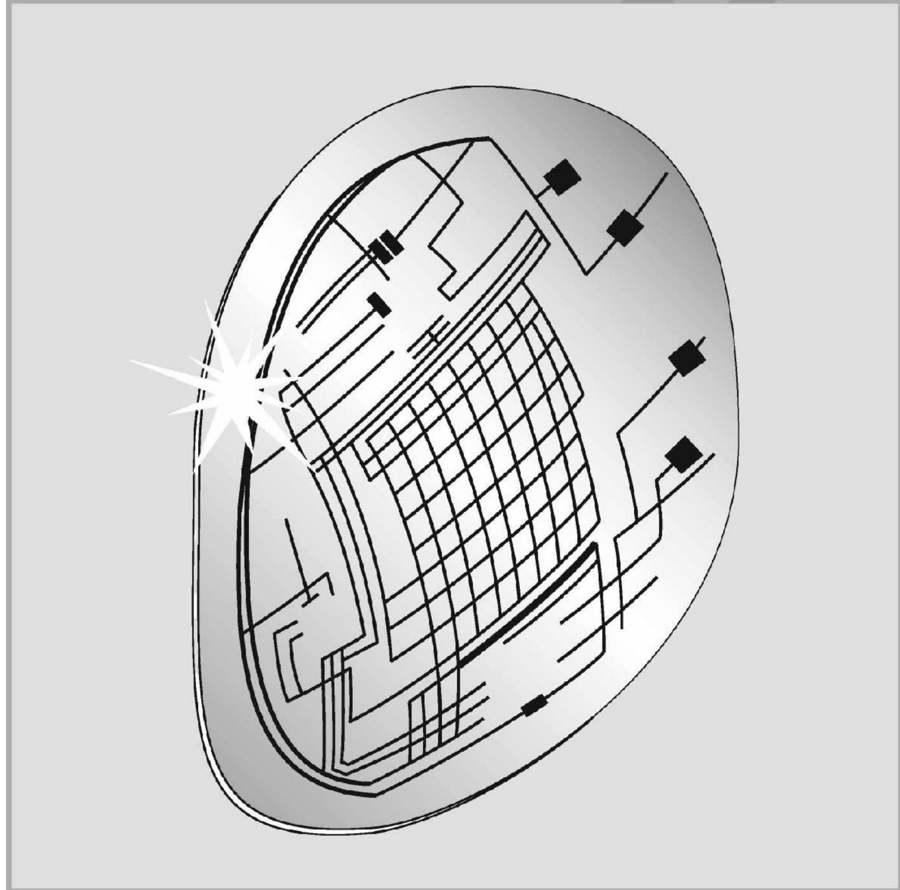


图2　因特网隐形透镜将识别人的面孔，显示他们的传记，将他们的文学翻译成字幕。旅行家将用它们复兴古代的纪念碑。艺术家和建筑师将用它们操作和改造他们的虚拟创造。在扩展的现实中可能性是无穷的。



扩展的现实：在旅游、艺术、购物和战争中实现的革命

正如你可以看到的，扩展的现实对于商业、工作场所的潜力是巨大的。实际上，扩展的现实可以强化每一项工作。此外，这项技术将极大丰富我们的生活、娱乐和社会。

例如，一位旅行者可以在博物馆中从一个展品走到另一个展品，同

时隐形透镜给你每件物品的描述；虚拟导游在你经过时给你一个电脑化的旅游。如果你访问某个古代的废墟，你能“看到”重新建造的在它们全盛时期的建筑物和纪念碑，还有它们的历史奇闻。你看到的罗马帝国废墟，不是废柱子和杂草，而是回到了当时的生活，还有注释和注解。

北京理工大学已经在这个方向走出了第一步。在电脑空间中，他们重新创造了在1860年第二次鸦片战争中被英法联军毁坏的神话般的圆明园（Garden of Perfect Brightness）。今天，此神话般的花园所残存的一切是被洗劫的军队留下的残骸。但是，如果你从一个特殊的观察平台看这片废墟，你能看到整个宫殿在你面前，雄伟壮观。在将来，这将变成平常的事情。

发明家尼古拉斯·尼克（Nikolas Neecke）创建了一个更高级的系统，瑞士巴塞尔（Basel）步行之旅。当你走在这个古老的街道上，你看到古代的建筑，甚至看到重叠在现代生活之上的古代的人，好像你是一个时间旅行者。计算机找出你的位置，然后在护目镜中为你显示古代的场景，就好像你被送回到中世纪的年代。今天，你不得不戴上大的护目镜和装满GPS电子仪器和计算机的沉重的背包。明天，在你的隐形透镜上就会有这些设备。

如果你在外国的土地上开车，所有的仪表将用英文出现在隐形透镜上，不需要低头去看它们。你将看到道路标志，还有附近物体，旅游景点的解释。你将看到道路标记被迅速翻译。

在外国地面上的徒步旅行者、露营者或常在野外活动的人，不仅能知道他的位置，也能知道所有植物和动物的名字，能够查看该地区地图和接受天气报告。他还能看到被灌木和树木掩盖的踪迹和露营场所。

买房子的人在他们沿街走或开着车时可以看到有什么房子在卖。你的透镜将显示要出售的公寓或房间的价格、生活设施等。

凝视夜晚的天空，你可以看到星星和所有清楚描绘的星座，就好像你看一场天象仪表演一样，除去你看的星星是真的，别无不同。你也能看到银河系、远距离的黑洞和其他有趣的天文景观在什么地方，可以下载有趣的图片。

除了能够看透物体和访问外国之外，如果需要在瞬间接触得到特殊的信息，扩展视野也是非常重要的。

例如，如果你是一位演员、音乐家或表演者，必须记住大量的材料，在将来你可以在你的透镜中看到所有的文字和乐曲。你不需要台词提示机、暗示卡、乐曲单或注解来提示你。你不再需要记忆任何东西。

其他的例子包括：

- 如果你是错过一堂课的学生，你可以下载虚拟教授关于任何课题的讲演，并看它。通过远程显示，一位真实教授的图像出现在你的面前，回答你可能有的任何问题。你也可以通过透镜看实验演示、录像等。
- 如果你是战场上的战士，你的护目镜或戴在头上的耳机或听筒可以给你最新的信息、地图、敌人位置、敌人火力方向、上司的指令等。在与敌人开火期间，当子弹从各个方向在你耳边呼啸而过时，你可以看透障碍和小山，找出敌人位置，因为通过飞过头顶的遥控无人机可以识别他们的位置。
- 如果你是外科医生在做精细的紧急外科手术，你可以通过手提磁共振成像（MRI）仪看到病人的内部，通过在身体内移动的传感器可以看透身体，还可以获取所有的医疗记录和以前手术的录像。
- 如果你在玩视频游戏，你可以将自己投入到透镜里的电脑空间中。尽管是在一个空房间里，你可以看到所有朋友的完美的三维图像，体验某些异国的地形，准备与想象的异国人作战。这就好像你是在外星人的战场上，刀光火剑包围着你和你的伙伴。
- 如果你需要查询任何运动员的竞赛统计表或运动趣事，有关信息将立刻瞬间弹出到你的隐形透镜上。

这意味着你不再需要手机、钟或手表，或MP3播放器。各种手握物品的图标都会投影到隐形透镜上，因此在任何需要的时候可以获得它们。打电话、音乐环球网站等都可以用这种方式获得。你家里用的很多用具和小器具都可以被扩展的现实代替。

另一位推动扩展现实应用范围研究的科学家是麻省理工学院（MIT）媒体实验室的帕蒂·梅斯（Pattie Maes）。她不是用特殊的隐形透镜、眼镜或护目镜，她想象将一个计算机屏幕投影到周围环境的普通物体上。她的方案叫做“第六感官”（SixthSense），办法是在脖子上戴一个像大奖章一样的小照相机和投影仪，可以把计算机屏幕的图像投影到你前面的任何物体上，如墙壁或桌子上。按图像按钮自动激活计算机，就像在实际键盘上键入一样。因为计算机屏幕的图像可以投射到你前面的任何平的和固体的物体上，你可以转换几百个物体到计算机屏幕上。

此外，你在大拇指和手指上戴上特殊的塑料顶针。在移动手指时，计算机执行在墙上的计算机屏幕的指令。例如，通过移动手指可以在计算机屏幕上画图。可以利用手指代替鼠标移动光标。如果把手合起来做成一个方形，就可以激活数字相机和拍照。

这也意味着，在去购物时计算机将扫描各种产品，识别它们是什么，然后给你一个完整的它们的内容、卡路里含量、其他消费者的评论的输出结果。因为芯片比条码便宜，每一件商业产品将有其自己的可以扫描和获取的智能标签。

扩展现实的另一个应用也许是X射线视力，非常类似于喜剧《超人》（*Superman*）中发现的X射线视力，它利用一个叫做“背面散射X射线”（backscatterX-rays）的方法。如果你的眼镜或隐形透镜对X射线敏感，就可能看透墙壁。当你四处看时，可以看透物体，就像在喜剧书中那样。每一个孩子，当他们开始读《超人》这个喜剧时，都梦想成为“比飞出的子弹还快，比火车头还强大”的人。成千上万的孩子身披斗篷、从板条箱上跳下、向空中跳跃，假装有了X射线视力，但这一切也是实际上可能的。

普通X射线的一个问题是必须把X射线底片放在任何物体背后，将物体在X射线下曝光，然后显影底片。但是，背面散射X射线解决了所有这些问题。首先，从照亮房间的光源发射X射线。然后，X射线从墙壁弹回来，从背后穿过要检查的物体。你的护目镜对穿过物体的X射线敏感。通过背面散射X射线看到的图像可以像这个喜剧片中看到的一样好。（增加护目镜的敏感性，就可减少X射线的强度，最大限度减少对健康造成的危险。）



通用翻译器

在《星际旅行》和《星球大战》传奇，以及实际上所有其他的科幻影片中，引人注目的是，所有外星人都说完美的英语。这是因为有“通用翻译器”（universal translator）这种东西，使地球人能立刻与任何外星文明对话，消除了利用符号语言和原始的手势与外星人对话的麻烦。

尽管曾经有人认为“通用翻译器”在将来是不现实的，但它已经存在了。这意味着在将来，如果你是一位在外国的旅游者与当地人讲话，在你的隐形透镜上会看到字幕，就像看外国电影一样。计算机还可以产生声音翻译送到你的耳朵里。这意味着如果两个人都有“通用翻译器”，两个人可以进行对话，每一个人讲自己的语言，而听到的是翻译的语言。翻译不会是完美的，因为总有方言、俚语和华美的表达问题，但是为了理解说话人的要点已经足够了。

科学家有几种办法使通用翻译成为现实。第一种方法是创造一种能将说的话转化成书面语言的设备。在20世纪90年代中期，第一台可用的商业语音识别机投入市场。这些机器可以识别最多40000个单词，精确率95%。因为典型的日常会话仅使用500到1000个单词，因此这些机器已经很不错了。一旦人的声音的听写完成了，然后每一个单词可通过计

算机词典翻译成另一种语言。然后遇到最困难的部分：把这些单词放到上下文中，加上俚语、口头表达等，所有这一切要求对语言的细微差别有透彻的理解。这个领域被称为计算机辅助翻译（CAT）。

另一种方法是匹兹堡卡内基梅隆（Carnegie Mellon）大学所倡导的。这里的科学家已经有了能将中文翻译成英语，将英语翻译成西班牙语和德语的原型机。将电极贴在说话人的脖子和脸上，提取肌肉的收缩，译解说的话。这些工作不需要任何音频设备，因为这些话可以默默地从嘴里说出。然后计算机翻译这些话，并由一个声音合成器大声地说出。在简单的100到200个单词的会话中，精确度达到了80%。

一位研究人员塔尼娅·舒尔茨（Tanja Schultz）说："其中想法是你可以用嘴讲英语，出来的却是汉语或其他语言。"在将来，计算机也许可能读懂一个人的唇语，这样就不需要电极了。因此，在原则上，两个人有可能进行生动的对话，尽管他们讲的是两种不同的语言。

在将来，曾经严重阻碍各种文化交流和相互理解的语言障碍，由于有了通用翻译器、因特网隐形透镜或因特网眼镜，会逐渐消失。

尽管扩展的现实世界打开了一个全新的世界，它仍然是有限度的。问题不是在硬件，也不是带宽这个限制因素，因为光纤电缆能承载的信息量是没有限制的。

真正的瓶颈在软件。编制软件只能用古老的方法。一个人默默地坐在椅子上，拿着笔和纸，还有笔记本电脑，一行一行地写代码，让这个想象的世界变成现实。硬件可以批量生产，堆积越来越多的芯片可以增加它的能力，但是人的大脑不能批量生产。这意味着引进一个扩展的世界需要几十年，要到这个世纪中期。



全息摄影和三维图像

在本世纪中期可能看到的另一个技术进展是真正的三维电视（3-DTV）和三维电影（3-D movies）。回到20世纪50年代，看三维电影要戴上沉闷的眼镜，其透镜是蓝色和红色的。它利用了左眼和右眼稍稍不能对齐这个事实。电影屏幕显示两个图像，一个蓝色的，一个红色的。因为这些眼镜的作用好像过滤器，产生两个截然不同的图像到左眼和右眼，当大脑融合这两个图像时产生看到三维图像的幻觉。因此"景深"感觉是一个骗局。（你的两眼距离得越远，可感觉的景深越大。这就是为

什么有些动物眼睛在它们头的两边：获得最大景深。）

一项改进是用偏振镜做的三维眼镜（3-D glasses），这样左眼和右眼看到的是两个不同的偏振图像。用这种方法可以看到全色的三维图像，而不只是蓝色和红色的。因为光是一个波，可以上下或左右振动。偏振镜是只允许一个方向的光通过镜片。因此，如果你的眼镜有两片偏振透镜，具有不同的偏振方向，就能得到三维效果。如果有两个不同的图像射进隐形透镜也许就能得到更完美的三维效果。

需要戴特殊眼镜的3D电视已经投入市场了。但是不久，3D电视就不再需要戴特殊眼镜了，而是用小扁豆似的透镜。这种电视是特别制作的，使它以略微不同的角度投射两个单独的图像，一眼一个。因此你的眼睛看到分离的图像，产生3D的幻觉。然而，你的头必须正确定位，在你看屏幕时你的眼睛必须对准“最佳点”。（这是利用众所周知的光学幻觉。在新颖的商店里，当我们走过一张图片时，这个图片神秘地转换了。它的实现是通过取两张图片，把每张撕成很多小条，然后把这些小条交互拼在一起，产生一个复合的图像。然后在此复合图像上部放一块有很多垂直槽的透镜玻璃板，每个槽精确地放在两个条的上面。这个槽的形状是特别设计的，当你从一个角度看它时，你可以看到一个条，从另一个角度看则看到另一个条。因此，当你经过玻璃板时，你看到每张图片从一个图像转变成另一个图像，往回走也一样。3D电视将用移动图像代替这些静止的图像取得同样的效果，而不使用眼镜。）

但是最先进的三维模拟是全息图。不使用任何眼镜就可以看到精确的3D图像的波前，就好像它立即出现在你眼前。全息图面市大约有几十年了（它们出现在新颖的商店、信用卡和展览会中），它们也通常会出现在科幻电影中。在《星球大战》中，秘密计划是通过莱娅（Leia）公主发给叛军同盟的3D全息信息制定的。

问题在于全息图是很难创建的。

全息图是通过一个单一的激光束，并将它一分为二产生的。一条光束落到想要拍摄的物体上，然后弹回落到特殊的屏幕上。第二条激光光束直接落到此屏幕上。两条光束的混合产生复杂含有原始物体的“冻结的”3D图像的干涉模式，然后被屏幕上特殊的膜层所捕捉。然后，让另一束激光透过屏幕，就可以看到原始物体的图像活灵活现地以3D形式出现了。

全息电视存在两个问题。首先，图像必须照射到屏幕上。坐在电视屏幕的前面就可以看到原来物体的精确的3D图像。但是你不能伸手摸这个物体。在你面前看到的3D图像是一个幻觉。

这意味着如果你在全息电视上看3D足球比赛，无论你怎样移动，你面前的图像的改变就好像真的一样。看上去你好像就坐在50码线上，离开足球运动员只有几英寸远在看比赛。然而，如果你伸手去抓球，就会

碰到屏幕。妨碍全息电视发展的真正技术问题是信息储量。一个真正3D图像含有大量信息，比单一的2D图像内部存储的信息多很多倍。计算机可以有规则地处理2D图像（二维图像），因为图像被分成小点，叫做像素，每个像素被一个小晶体管照亮。但是要使3D图像移动，一秒钟需要闪现30个图像。迅速算一下就能知道，要产生移动3D全息图像所需要的信息远远超出今天因特网的能力。

到本世纪中期，随着因特网带宽呈指数增长，这个问题也许能解决。

真正的3D电视看上去会是怎样的呢？

一种可能性是屏幕的形状像一个圆筒或圆屋顶，你坐在里面。当全息图像照到屏幕上时，我们看到3D图像围绕我们，就好像我们真的在那儿一样。

远期（2070—2100）



心力胜过物质

到这个世纪结束时，我们将用我们的心力直接控制计算机。像希腊神一样，我们想要什么，我们的愿望就会实现。这项技术已经有了基础。但是也许需要几十年艰苦的工作才可以完善。这个革命分两部分。首先，头脑中的想法必须能够控制周围的物体。第二，计算机必须能够检验人的愿望，以便实现这个愿望。

第一个显著的突破是在1998年实现的，德国埃默里（Emory）大学和蒂宾根（Tübingen）大学的科学家将一根细小的玻璃电极直接放进一位56岁，在中风后瘫痪的病人的大脑中。此电极连接到计算机上，分析他的大脑信号。中风病人能够看到计算机屏幕上光标的图像。然后，利用生命反馈，他能够只凭思索控制计算机显示的光标。在人的大脑和计算机之间的首次直接接触实现了。

布朗（Brown）大学的神经科学家约翰·多诺霍（John Donoghue）最完善地开发了这项技术，他创造了一个设备叫做“脑机接口”（BrainGate），帮助受到大脑伤害的人沟通。他引起了媒体的重视，甚至在2006年成为《自然》杂志的封面人物。

多诺霍（Donoghue）告诉我，他的梦想是要利用信息革命的全部能力，让“脑机接口”改变处理脑损伤的方法。它已经对他的病人的生活产生了巨大的影响，他十分希望能进一步发展这项技术。他个人之所以对这项研究有极大的兴趣，是因为当他还是一个孩子的时候，就因为退化疾病被局限在轮椅上，因此他知道无助的感觉。

他的患者包括中风病人，完全瘫痪了，不能与他的亲人沟通，但是他们的大脑还是活跃的。他放了一个只有4毫米宽的芯片在中风病人大脑的顶上，在控制运动神经中枢的部位。这个芯片连接到一个分析和处理大脑信号的计算机上，最终将信息发送到一个笔记本电脑上。

开始时患者对光标的位置不能控制，但可以看到光标移动到那。通过反复试验，患者学会了控制光标，几小时之后就能把光标定在屏幕上的任何地方。通过练习，中风病人能够读写电子邮件和玩视频游戏。原

则上，一个瘫痪病人能够执行任何计算机可以控制的功能。

多诺霍从4个患者开始，两个有脊髓损伤，一个中风，第四个患肌萎缩性侧索硬化症（ALS，又称肌无力肌萎缩症）。其中之一从脖子底下瘫痪，仅用了一天就掌握了用大脑移动光标。今天，他能够控制电视、移动计算机光标、玩视频游戏和读电子邮件。病人也可以通过操作电动轮椅到处走动。

简单地说，对于完全瘫痪的病人这完全是奇迹。头一天，他们的身体是陷入绝境的，无助的；第二天，他们在环球网上冲浪，和周围世界的人对话。

〔我曾经出席了纽约林肯中心的一个祝贺伟大的宇宙学家斯蒂芬·霍金（Stephen　Hawking）的节日招待会。看到他陷在轮椅中，除了面部的几根肌肉和眼皮，没有任何地方能动，护士抬着他柔软的头推着他到处走，着实让人感到心碎。经过几个小时和几天极其痛苦的努力，他用他的声音合成器说出了几个简单的想法。我想，对他来说利用“脑机接口”技术是不是太晚了。这时约翰·多诺霍走过来向我问好，他当时也在听众中。因此，也许“脑机接口”是霍金最好的选择。〕

在杜克（Duke）大学的另一组科学家在猴子身上取得了类似的结果。米格尔· A．L.尼科莱里斯（Miguel　A.L.Nicolelis）和他的团队在猴子的大脑上放了一个芯片。这个芯片连接到一个机械臂上。开始的时候，猴子很烦躁，不知道怎样操作这个机械臂。但经过一些训练，这些猴子利用它们的脑力能够慢慢地控制机械臂的运动，例如移动它去抓一根香蕉。它们可以本能地不假思索地移动这些臂，就好像这些机械臂是它们自己的一样。“有一些心理的证据说明，在试验期间它们感到与此机械臂的连接比与它们自己身体的连接还紧密。”尼科莱里斯说。

这也意味着有一天我们能够利用纯粹的思维控制机器。瘫痪的人也能以这种方式控制机械手臂和腿。例如，也许能够把一个人的大脑直接与机械手臂和腿连接起来，不经过脊髓，这样患者就又能行走了。这也为利用大脑的能力控制世界奠定了基础。



识别意识

如果大脑能够控制计算机或机械臂，在大脑中不放电极，计算机能够识别一个人的思想吗？

自从1875年人们就知道大脑是根据通过神经的电流，产生微弱的电信号工作的。这些电信号可以通过放在大脑周围的电极来测量。通过分析这些电极拾取的电脉冲，可以记录脑电波。这被叫做脑电图（EEG），它记录大脑总的变化，例如是不是在睡眠和情绪如何，如激动、生气等。脑电图的输出可以显示在计算机屏幕上，被测脑电波的人可以看到它。过了一会儿，这个人只靠思维就能移动光标了。蒂宾根（Tübingen）大学的尼尔斯·比尔鲍默（Niels Birbaumer）已经能够用这种方法训练部分瘫痪病人书写简单的句子了。

甚至玩具制造者也利用这个方法。一些玩具公司，包括神念科技公司（NeuroSky）销售的头巾里面有脑电波类型的电极。如果你以某种方式集中思想，你就可以激活头巾中的脑电波，然后这些脑电波就能控制玩具。例如，可以通过纯粹的思维就可升起圆筒里的乒乓球。

脑电波的优点是它能迅速检测大脑发射的各种频率，无须精心制作的昂贵的仪器。但是脑电波一个大的缺点是不能定位思想在大脑中的特定位置。

一个更加敏感的方法是功能磁共振成像（fMRI）扫描。脑电图（EEG）与功能磁共振成像（fMRI）的扫描完全不同。脑电图扫描是一个被动的设备，只是拾取大脑的电信号，不能很好地确定信号源的位置。功能磁共振成像仪利用无线电波产生的“回波”能够窥视活组织的内部。这使我们能够锁定各种信号的位置，产生大脑内部的壮观的3D图像。

功能磁共振成像仪（fMRI）是非常昂贵的，要求实验室有完整的笨重的设备，但是它已经给出我们大脑如何思考的惊人的细节。fMRI扫描使科学家能够找出血液的血红素中所含的氧气的存在。因为氧化的血红素含有使细胞活动的能量，检测血红素中氧的流动就使我们能追逐大脑中思维的流动。

洛杉矶加利福尼亚大学的心理学家乔舒亚·弗里德曼（Joshua Freedman）说：“这就像16世纪望远镜发明之后的天文学家。几千年来，只有很少聪明的人试图了解天上发生的事情，但是他们能够推测人类所看不到的视野之外的东西。然后，突然，一个新的技术让他们直接看到了那里有什么东西。”

事实上，功能磁共振成像（fMRI）扫描仪甚至可以检测到大脑中思想的运动，分辨率为0.1毫米，比大头钉的尖头还小，大约相应于几千个神经细胞（即神经元）。因此，fMRI能够给出大脑思索过程中能量流动的三维图像，精确到令人吃惊的地步。最终，有可能建成能够探测单个神经的fMRI仪器，在这种情况下人们也许能够读取与特定思维相应的神经系统模式。

最近，伯克利加利福尼亚大学的肯德里克·凯（Kendrick Kay）和他

的同事取得了突破。他们对观看各种物体，如食物、动物、人和各种颜色的普通物体的人进行功能磁共振成像（fMRI）扫描。凯和他的同事编制的软件程序能将这些物体与相应的fMRI模式联系起来。看到的物体越多，计算机程序在fMRI扫描上识别这些物体就越好。

然后他们说明，对于完全新的物体情况也是这样，并且软件程序通常能够正确地将这个物体与功能磁共振成像（fMRI）扫描匹配。出示120张这些物体的图像，软件程序识别fMRI扫描和这些物体有90%是正确的。出示1000张新图像时，软件成功率为80%。

凯说："有可能识别一位观察者在一大堆完全新颖的自然图像中看到的是哪些特定的图像……也许很快就有可能通过只是测量人脑的活动就能重新构造这位观察者所看到的图像。"

这个方法的目标是创建"思想词典"（dictionary of thought），因此，每个物体与某个功能磁共振成像（fMRI）图像有一对一的关系。通过阅读fMRI模式，我们能够译解这个人在想什么。最终，计算机将能够扫描从大脑中涌现出来的成千上万的fMRI模式，并译解它们。用这种方法，我们能够译解一个人的意识流。



拍照一个梦

然而，利用这一技术的问题在于，例如，尽管有可能辨认出你是不是在想一条狗，但不能复制出这条狗的实际图像。一个新的研究路线是试图重新构造大脑正在思索的精确图像，这样就有可能创建人的思想的视频。用这种方法，也许能够进行一个梦的视频记录。

因为时间是无法追忆的，梦使得人们着迷，梦是短暂的图像，有时是如此难以回忆和理解。好莱坞早就幻想有一种机器，也许有一天能把梦一般的思想送到大脑中，或者记录它们，就像在《全面回忆》（*Total Recall*）电影中那样。然而，所有这一切纯粹是思索。

一直到最近，情况仍是如此。

科学家已经在一个曾经被认为是不可能的领域中取得了显著的进展：对我们的记忆，也许还有我们的梦境拍快照。东京高级无线电通讯计算神经系统科学实验室的科学家在这个方向跨出了第一步。他们向他们的实验者的特定位置照射一束极微小的光。然后利用功能磁共振成像

（fMRI）扫描记录大脑将这个信息记录在何处。他们移动这个极微小的光，并记录大脑把这个新的图像记录在哪。最终，他们有了这些极微弱的光点记录在大脑中的位置的一对一的映射图像。这些小光点位于10×10的栅格中。（图3）

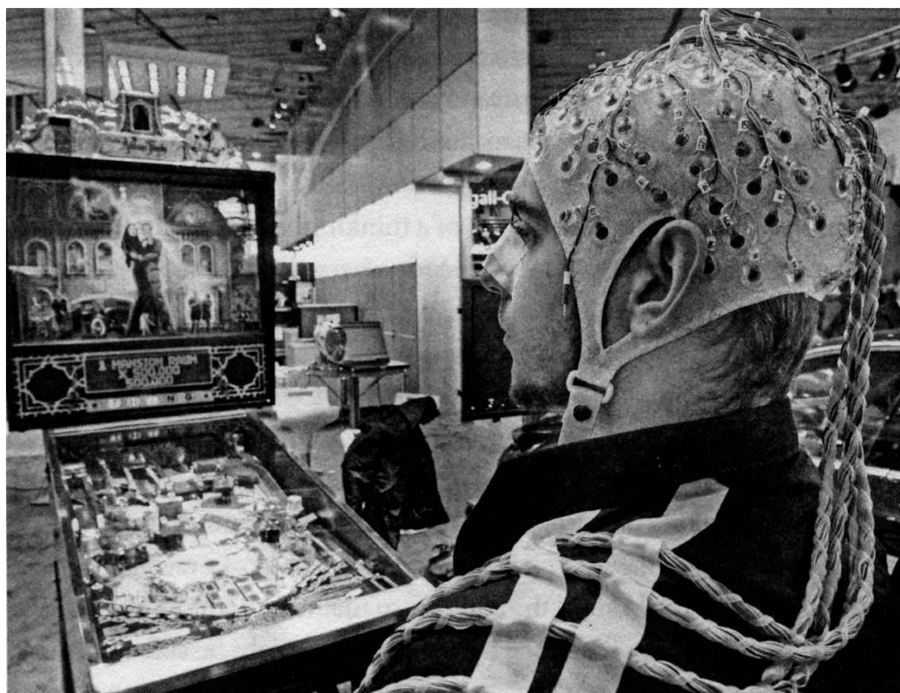


图**3**　通过脑电图（**EEG**）扫描识别思想。

然后，科学家闪现一张由这些10×10的点制作的简单物体，如马蹄铁的图片。然后通过计算机能够分析大脑如何储藏这个照片。可以肯定的是，大脑储藏的模式是构成马蹄铁图像的总和。

用这种方式，这些科学家能够创建大脑所看见的图片。在这个10×10栅格上，光的任何模式可以通过查看功能磁共振成像（fMRI）大脑扫描的计算机进行译解。

在将来，这些科学家要增加在他们的10×10栅格上像素的数量。此外，他们说，这个方法是通用的，也就是说，任何形象化思维，或者甚至梦应该能够通过功能磁共振成像（fMRI）扫描检测。如果这是真的话，这也许意味着，在人类历史上，我们将能够首次记录梦的图像。

当然，我们的思想图像，特别是我们的梦，决不会像水晶一样清晰，总会有些模糊，但是我们能够深入地看到某个人大脑的形象思维，这一点是了不起的。（图4）

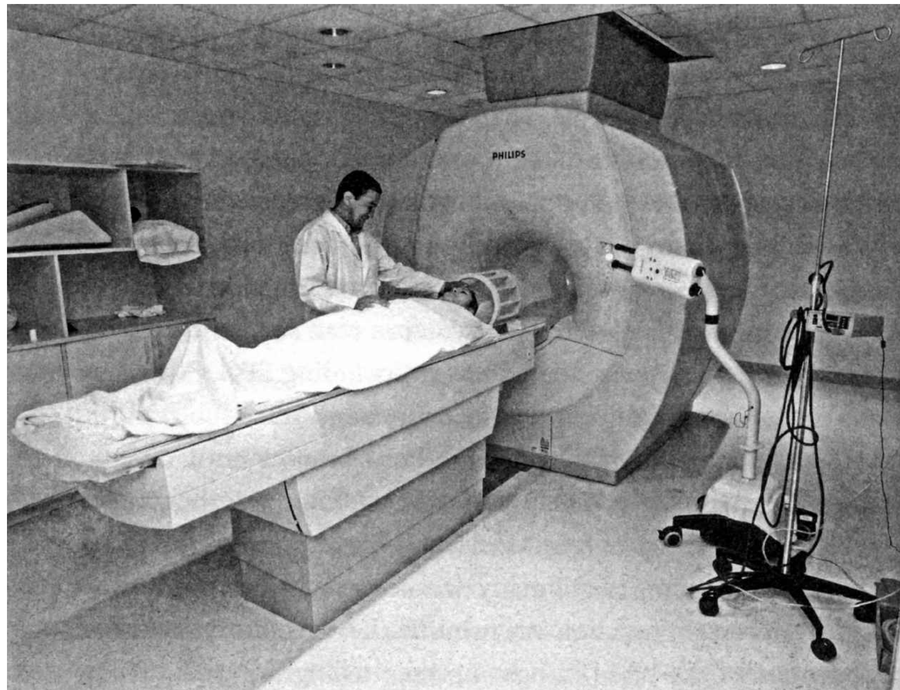


图4　通过功能磁共振成像（fMRI）扫描识别思想。在将来，这些电极将小型化。我们将能识别思想和仅仅依靠思想对物体发号施令。



识别思想的道德规范

这样做就会产生一个问题：如果你能够随随便便地阅读别人的思想会发生什么呢？诺贝尔奖得主，前加利福尼亚理工学院校长戴维·巴尔的摩（David　Baltimore）担心这个问题。他写道："我们可以窃听别人的思想吗？……我不认为这是纯粹的科幻，但它会产生一个人间地狱。想一想如果对方能读懂你的思想还怎样向配偶求爱呢，如果别人能读到你的想法怎样谈判一个合同呢。"

他推测，大部分时间，阅读别人的思想将会产生某些尴尬但不是灾难性的后果。他写道："有人告诉我，如果你在中途停止教授的讲课……学生中的大部分是沉溺在性的幻想中。"

但思想阅读也许不会变成这样一个秘密的结果，因为我们的大部分思想不是明确定义的。拍照我们的白日梦和梦也许有一天可能，但我们

也许对照片的质量失望。很多年前，我记得读过一个短篇故事，一个妖怪对一个人说，他能让他得到他能够想象的任何东西。他立刻想象豪华的奢侈物品，如豪华轿车、几百万美元现金和一个城堡。然后，这个妖怪立刻将这些想象的东西变成实际的东西。但是当这个人仔细考察它们时，他震惊地发现，豪华轿车没有门把手和发动机，钞票的票面模糊不清，城堡是空的。在他匆忙想象所有这些物品时，他忘了在他的想象中存在的这些图像仅仅是一般的思想。

此外，不能肯定你能在远距离读某人的思想。所有研究的方法到现在为止（包括EEG、fMRI和大脑上的电极本身）要求与受试者近距离接触。

虽然如此，可能最终会通过法律限制未被授权的思想阅读。还可以制造保护我们思想的设备，使我们的思想不受干扰、阻塞，或搅乱我们的电信号。

真正的思想阅读仍然是几十年后的事，但至少，功能磁共振成像（fMRI）扫描仪可以用做初步的测谎仪。讲谎话比讲真话引起更多的大脑中心的活动。讲假话意味着你知道真的，但思索谎话和它的种种结果，比讲真话要求更多的能量。因此，fMRI扫描仪能够检测这个额外的能量消耗。目前，科学社团对允许fMRI测谎仪做最后的判断有保留，特别是在法庭的案例中。这项技术仍然是太新了，不足以提供坚实的测谎方法。

现在已经有两个商业公司提供功能磁共振成像（fMRI）测谎仪，声称成功率高于90%。印度的一家法院已使用功能磁共振成像技术处理一个案例，现在在美国法院也有几个案例涉及fMRI。

通常测谎仪不能测谎，只测量紧张信号，如出汗增加（通过皮肤的导电性进行测量）和心率增加。大脑扫描仪测量大脑活动的增加，但是这些测量与说谎之间的关系仍要最后验证才能用于法庭。

也许需要若干年仔细的测试，研究功能磁共振成像测谎仪的限制和精度。同时，麦克阿瑟（MacArthur）基金会近年来为“法律和神经系统科学项目”提供1000万美元资金确定神经系统科学如何影响法律。



我的fMRI大脑扫描

功能磁共振成像（fMRI）曾经扫描过我的大脑。为了一个BBC发现频道纪录片，我飞到杜克（Duke）大学，他们把我放在一个担架上，推进一个巨大的金属圆筒。当一个巨大的、强大的磁场打开后（20000倍地球磁场的强度），我大脑中的原子与磁场的方向排列对齐，就像陀螺的轴对准一个方向。然后一个无线电脉冲发送到我的大脑中，把我的原子的一些原子核翻个个儿。当这些原子核最终翻回到正常位置，它们发射一个小脉冲，或“回声”，由功能磁共振成像（fMRI）机器检测。计算机分析这些回声，处理信号，然后重新集合我大脑内部的3D映射图像。

整个过程完全是无痛和无害的。发送到我身体内的射线是非离子化的，不会由于把原子撕开引起细胞的损伤。即使悬在比地球强几千倍的磁场中，我检查不到我的身体有丝毫变化。

我接受功能磁共振成像（fMRI）扫描的目的是要精确确定我大脑中的某些思想是在什么地方制造的。特别是，大脑内部有一个小生物“钟”，就在两眼之间，鼻子之后，在这个地方大脑计算分和秒。

当我在扫描仪内部时，测试人员要我测量分秒的通过。后来，当fMRI图片定影之后，我清楚地看到当我计算分和秒时就在我鼻子的后面有一个亮点。我认识到，我见证了生物学全新领域的诞生：追踪与某个思想相联系的大脑的精确位置，这是一种形式的思想识别。



三录仪和手提大脑扫描仪

在将来，磁共振成像（MRI）机器不需要像今天在医院里面的设备那么巨大，要重好几吨，占据整个房间。它可能会小到手机，或一分钱硬币那样大。

1993年，伯恩哈德·布吕米希（Bernhard Blumich）和他的同事，当他们还在德国美因茨（Mainz）麦克斯·普朗克塑料研究所（Max Planck Institute for Polymer Research）工作的时候，偶尔发现一个能够创造小型磁共振成像（MRI）机器的新颖的想法。他们建了一个新机器，叫做鼠型磁共振成像仪（MRI-MOUSE），一种可移动的通用表面探测器，当前大约1英尺（30.5厘米）高，有一天磁共振成像仪也许会像咖啡杯那样大，会在部门的商店出售。医学也许会因此产生一次革命，因为人们可以在自己房间里私下进行MRI扫描。布吕米希（Blumich）幻想有一天，一个不太遥远的将来，人们可以用个人的鼠

型磁共振成像仪搜遍全身，在一天的任何时间里查看身体内部。计算机将会分析图片和诊断任何疾病。“也许像《星际迷航》中的三录仪（tricorders）那样的东西不要等得太久就会出现了。”他最后说。

〔磁共振成像（MRI）扫描的工作原理类似于罗盘指针。罗盘指针的北极立即与地球磁场对齐。因此当人的身体放在磁共振成像扫描仪中，原子的核就像罗盘指针一样与磁场对齐。然后，一个无线电脉冲发送到身体里使原子核上下翻转。最终，当原子核反转回来回到原位时，发射一个二次无线电脉冲，或“回声”。〕

他的小型磁共振成像仪的关键是非均匀磁场。通常，今天的磁共振成像仪之所以体积这样大的原因是需要把身体放在极均匀的磁场中。磁场越均匀，得出的图像就更详细，今天的分辨率可以低至1毫米的十分之一。为了得到均匀的磁场，物理学家用了两个大的线圈，直径大约2英尺（61厘米），一个堆叠在另一个上面。这个线圈叫做赫尔姆霍兹（Helmholtz）线圈，在两个线圈之间的空间中提供均匀的磁场。然后，将人体沿着这两个大磁铁的轴放好。

但是如果使用非均匀的磁场，得出的图像是扭曲的，那是没有用的。这是几十年来磁共振成像仪面临的问题。但是，布吕米希碰巧发现一个巧妙的方法补偿这个扭曲，他是通过发送多个无线电脉冲到样品中，然后检测产生的回波。然后用计算机分析这些回波，补偿非均匀磁场产生的扭曲。

今天，布吕米希的手提鼠型磁共振成像仪使用一个小型的U形磁铁，在U形磁铁的每一端产生北极和南极。将这个磁铁放在患者身上，移动磁铁可以看透皮肤下面几英寸。标准的磁共振成像仪要消耗大量的电能，必须有特殊的电源接口，而鼠型磁共振成像仪所用的电力相当于普通的灯泡。

在布吕米希早期的试验中，他把鼠型磁共振成像仪放在像人体组织一样的软橡胶胎的上面。这样就可直接用在商业上：快速检验产品的缺陷。通常的磁共振成像仪不能用在含有金属的物体上，如辐射型钢带轮胎。因为鼠型磁共振成像仪仅用很弱的磁场，所以没有这个限制。（常规的磁共振成像仪的磁场强度为地球磁场的20000倍。在磁场开启时，金属工具会突然飞出来打到护士和技术人员的身上，引起严重损伤。鼠型磁共振成像仪没有这样的问题。）

鼠型磁共振成像仪不仅用于分析含有铁金属的物体是理想的，它也能够分析太大的放不进常规磁共振成像仪的物体，或者不能移动位置的物体。例如，在2006年用鼠型磁共振成像仪成功地产生了奥茨（Otzi）冰人内部的图像，这是1991年在阿尔卑斯山发现的冰冻的尸体。在奥茨冰人的身上到处移动U形磁铁，它成功地揭示了这个冰冻的身体的各层组织。

在将来，鼠型磁共振成像仪可以做得更小，使大脑的磁共振成像扫描仪小到像手机那样大。到那时，扫描大脑识别一个人的思想就不是什么问题了。最终，磁共振成像扫描仪也许薄得像硬币，几乎看不到。它也许类似功率不大的脑电波扫描仪，你戴上一个塑料帽，上面有很多电极附在头上。（如果你把这些手提式的磁共振成像盘放在指尖上，然后把它们放在人的头上，这就好像进行了《星际迷航》中的火神智力融合一样。）



心灵遥感和上帝的能力

这个进展的终点是实现心灵遥感，即神话中通过纯粹的思想可移动物体的上帝的能力。

例如，在《星际迷航》电影中，力是一个神秘的场，它遍布星系和释放“绝地武士门”（Jedi knights）的智能，使他们能够用他们的头脑控制物体。这个力能将光剑、射线枪，甚至整个恒星飞船轻轻浮起，还能控制别人的行动。

但是我们不需要旅行到遥远、遥远的星系去利用这个能力。到了2100年，当我们在房间中行走时，我们能够用心力控制计算机，然后计算机控制我们周围的东西。移动重的家具、重新布置桌子、进行修理等，只要想想它就可以完成。这对于工人、消防队员、宇航员和战士是非常有用的，因为他们操作机器不只需要两只手。它也会影响我们与世界相互作用的方式。我们将能够骑车、开车、玩高尔夫球或精心制作的游戏，只要想一想就成。

利用某些叫做超导的东西有可能实现靠思想移动物体，在第4章将进一步解释超导体。到本世纪末，物理学家也许能够创造在室温下运作的超导体，这就使得我们可以创建巨大的磁场，但只要求很小的电能。像20世纪是一个电的世纪一样，在将来室温超导也许会给我们带来一个磁的时代。

今天产生强大的磁场非常昂贵，但在将来有可能变得几乎不需要费用。这使我们能够减小火车与车轨之间的摩擦力，使运输发生革命，消除电转换的损失。这也使我们能靠纯粹的思维就能移动物体。把小的超级磁铁放在各种物体的内部，就能几乎随意地到处移动它们。

我们设想，在近期每一件物品放一个小芯片使它智能化。在远期每

一件物品中放一个小的超导体，使它能产生磁能爆发，足以推动它在房间中到处移动。例如，设想一个桌子里面放了超导体。通常情况下，这个超导体不带电。但是，在加上一个小电流后，它就能产生强大的磁场，能够推着它在房间中移动。我们将能够靠思想激活埋藏在物体中的超级磁铁，并使它移动。

例如，在电影《X战警》（*X-Men*）中，邪恶的突变异种是由“万磁王”（Magneto）领导的，他能够操作物体的磁性移动巨大的物体，甚至能够通过他的心力移动金门桥。但是这个能力有一个限制。例如，它很难移动像塑料或纸这些没有磁性的物体。（在第一部《X战警》影片的末尾，万磁王被囚禁在一个完全由塑料做成的监狱中。）

在将来，室温超导体可以藏在普通物体，甚至非磁性物体的内部。如果将物体内的电流打开，它就可以成为磁性的，因此通过思想控制一个外部磁场就可能使它移动。

我们也有能力通过思想操纵机器人和天仙的化身。这意味着，就像在电影《代理人和阿凡达》（*Surrogates and Avatar*）一样，我们也许能够控制我们替身的运动，甚至感到疼痛和压力。如果需要一个超人的身体在外层空间进行修理或在紧急情况下救人，这也许会被证明是很有用的。也许有一天，我们的宇航员可以安全地待在地面上，控制超人机器人的身体飞往月球。我们将在下一章更详细讨论这个问题。

我们也要指出具备这个心灵遥感能力不是没有危险的。正如在前面提到的，在电影《惑星历险》（*Forbidden Planet*）中，在我们之前几百万年的一个古代文明实现了利用心力控制万物的最终的梦想。作为他们技术中的一个微不足道的例子，他们创造了一个机器能把思想转换成3D图像。将这个设备戴在头上，想象某物，在这个机器内部一个3D图像就产生了。尽管这个设备对于20世纪50年代的电影观众来说似乎是不可思议的，但是这个设备在未来几十年将会出现。在这部影片中还有一个设备利用精神能量举起重物。但是正如我们知道的，这项技术不需要再等几百年，它已经存在了，在一种形式的玩具中。将脑电图（EEG）电极放在头上，这个玩具检测大脑中的电脉冲，然后它就把一个小物体举起来了，就像在这部影片中一样。在将来，很多游戏可以靠纯粹的思想来玩。每个比赛队可以在精神上连线，使他们能通过思想移动球，智力最好的比赛队将赢球。

《惑星历险》影片的结局让我们踌躇不前。尽管他们的技术浩瀚无边，但他们还是毁灭了，因为他们没有注意到他们计划的缺陷。他们的强大的机器不仅渗入到他们的自觉的意识中，也渗入到他们的下意识的要求中。野蛮、长期受压迫的思想、远古进化的过去也跃然回到生活中，并且这些机器把每一个下意识的噩梦物化为现实。在实现他们的最伟大创造的前夕，这个强大的文明正是被他们希望从工具解放出来的这个技术本身所毁灭了。

然而，对于我们来说，这个危险仍然是遥远的。在22世纪之前，这种量级的设备还不会出现。但是我们面临一个更直接的问题。到2100年，我们将生活在一个到处都是有着像人一样特点的机器人中间。如果它们变得比我们还聪明将会怎样？

2．人工智能的将来　机器的出现

机器人将占据地球吗？是的，但它们将是我们的孩子。

——马文·明斯基（Marvin Minsky）

神话中的神用他们的神力可以将无生命的变成有生命的。根据圣经第2章“起源”，上帝用尘土创造了人，然后“向他的鼻孔吹入生命的气息，这个人就变成活的灵魂”。根据希腊和罗马神话，女神维纳斯（Venus）可以使雕像跃起变活。维纳斯同情艺术家皮格马利翁（Pygmalion），见他无望地爱上他所创作的雕像，为了准许他的爱情，把这个雕像变成一个美丽的妇女伽拉忒亚（Galatea）。众神的铁匠火神伏尔甘（Vulcan）甚至能够创造一支机械仆人的军队，并赋予他们生命。

今天，我们像火神伏尔甘一样，在实验室锻造机器，将生命不是注入泥土，而是注入钢和硅。但是它会解放人类或束缚我们吗？如果我们读一下今天的大字标题，似乎已经有了答案：人类将要被我们自己创造的东西迅速取代。



人性的结束？

《纽约时报》的大字标题一语挑明：“科学家担心机器的智能将会胜过人类。”世界上人工智能（AI）的顶尖领袖们于2009年聚集在加利福尼亚召开的阿西罗马（Asilomar）会议上，严肃地讨论了在将来，当机器最终取而代之时将会发生什么。正像在好莱坞电影的一个场景中看到的，代表团要求探索一个问题，比如，如果机器人变得和你的配偶一样聪明时将会发生什么？

作为这个机器人革命的引人注目的证据，人们的注意力指向捕食者无人驾驶飞机（Predator drone），一个无人驾驶的机器人飞机，它现在的目标是无比精确地瞄准阿富汗和巴基斯坦的恐怖主义者；可以自己驾驶的汽车；和阿西莫（ASIMO）一样，一个世界上最先进的机器人，它能够行走、跑步、爬楼梯、跳舞，甚至为客人倒咖啡。

微软的埃里克·霍维茨（Eric Horvitz），这次会议的一个组织者，

注意到贯穿在会议中的激动的浪潮，他说：“技术专家正在提供的几乎是宗教式的幻想，他们的思想在某种程度上与勾引灵魂至天上极乐世界的同样的想法共鸣。”（勾魂也就是真正的信奉者在来世升入天堂。批评家把阿西罗马会议的精神说成是“书呆子的狂喜”。）

同一个夏天，占据银屏的电影似乎放大了这个预示性的描述。在影片《终结者拯救》（*Terminator Salvation*）中，卑微的人类与占据地球的巨大的机械河马战斗。在影片《变形金刚：陷落者的复仇》（*Transformers*：*Revenge of the Fallen*）中，来自外太空的未来的机器人用人做人质，用地球做战场进行他们的星际大战。在影片《代理人》（*Surrogates*）中，人们情愿过理想的、美丽的、超人的机器人那样的生活，而不愿意面对日益衰老和身体退化的现实。

从大字标题和剧院屋顶的大型招牌判断，好像人类就要到了喘息最后一口气的时候了。人工智能学者严肃地问：会有一天当我们创造的机器人向我们扔花生时，我们不得不在酒吧里跳舞吗？就像我们在动物园逗狗熊所做的那样？或者我们会变成我们创造的机器人的宠物吗？

但是经过仔细考察，这些情况不会出现。可以肯定在过去10年取得了巨大的突破，但是对这些事情还必须进行分析。

捕食者（Predator），一个27英尺（8.23米）长的无人驾驶飞机从空中向恐怖主义者发射致命的导弹，它是由一个人用操纵杆操纵的。一个人，很像视频游戏的年轻的老手，舒适地坐在计算机屏幕的后面选择目标。是人，而不是捕食者发出射击的命令。自己行驶的汽车，当它们审视周围转动方向盘时不是独立做出决定的，它们是按照存储在存储器中的GPS地图驾驶的。因此，全自治的、自觉的和非常危险的机器人还是遥远未来的事。

毫不奇怪，尽管媒体大事宣传在阿西罗马会议上做出的令人感动的预言，大多数进行人工智能日常研究的科学家则比较保守和小心。当问及机器人什么时候才能变得和人一样聪明时，科学家的回答是令人吃惊的不同，范围从20年到1000年。

因此我们必须区分两种类型的机器人。第一种是由人或程序遥控的，像磁带记录器按照精确的指令事先规定的。这些机器人已经存在，并且产生了重大影响。它们正慢慢地进入我们的家庭，也进入了战场。但是没有人做出决定，它们很大程度上是无用的垃圾。因此这些机器人不要和第二种类型全自治的机器人混淆，第二种机器人能够自我思考，不需要人输入程序。在过去的半个世纪科学家尚未考虑这些全自治的机器人。



阿西莫机器人

人工智能研究人员通常把叫做阿西莫（ASIMO）的本田公司（Honda）机器人作为机器人革命性进展的范例。它是一个创新机动性的高级阶段的双脚步行机器人（Advanced Step in Innovative Mobility）。它高4英尺3英寸（1.295米），重119磅（53.98千克），像一个戴着黑头盔和背着背包的小伙子。事实上，阿西莫是非凡的：它能实际地行走、跑步、爬楼梯和讲话。它能在房间中漫步，端茶杯和盘子，回答一些简单的命令，甚至认识某些人的脸。它甚至掌握大量的词汇，能用几种语言说话。阿西莫是很多本田科学家20年紧张工作的结果，他们创造了工程学的奇迹。

在两个单独的场合，为了主持BBC和发现科学专题，我幸运地在会议上亲自与阿西莫互动。当我握住它的手时，它以完全和人一样的方式回应。我向它挥手，它也立刻向我挥手。我要它递给我一些水果汁，它像人的运动一样转过身去，走向饮料桌。的确，阿西莫太像一个活人了，以致当它讲话时，我半信半疑地期待这个机器人摘下它的头盔，出现一个聪明地藏在里面的孩子。它跳舞甚至比我还跳得好。

开始的时候，看上去阿西莫好像是有智力的，能够响应人的命令，进行对话，在房间中到处走动。实际上，真实情况是完全不同的。当我与阿西莫在电视机镜头前互动时，每一个动作和每一个细节都是原来仔细编写好的。事实上，花了3个小时才和阿西莫拍了一个简单的5分钟的节目。即使这样也需要一个阿西莫团队进行处理，在拍了每段场面后，他们在笔记本电脑上对机器人开始发疯似的紧张地重新编制程序。尽管阿西莫用几种不同的语言与你讲话，实际上是一个磁带记录器在播放记录的信息。就像鹦鹉学舌那样，说出的话都是由人编制的程序。尽管阿西莫每年都变得更完善，但它不能独立思考。每一句话、每一个姿势、每一步都是由阿西莫的操作者预先仔细排练的。

之后，我和阿西莫的一位发明者进行了坦率的交谈，他承认阿西莫尽管能像人一样运动和行动，但它仅有一个昆虫的智力。它的大多数动作都是事先仔细编程的。它可以完全像人一样走路，但它的路径必须仔细编程，否则就会绊到家具上摔倒，因为它实际上不能识别房间周围的物体。

相比之下，甚至一个蟑螂也能够识别物体、迅速绕过障碍、寻找食物和配偶、躲避捕食者、计划复杂的逃跑路线、藏在阴影里、消失在裂

缝中，所有这一切都是几秒钟的事。

布朗大学的人工智能研究员托马斯·迪安（Thomas Dean）承认，他正在建造的笨拙的机器人“仅仅处在一个仅有足够精力走出大厅，而不在石膏上留下巨大沟槽的阶段”。正如我们后面将看到的，目前我们最强大的计算机只能勉强模拟老鼠的神经，并且仅能模拟几秒钟。还需要几十年艰苦的工作，机器人才能变得像老鼠、兔子、狗或猫，然后像猴子一样聪明。



人工智能的历史

批评家有时指出一个模式，每30年就会有人工智能的从业者声称，超智能的机器人就要出现了。然后，当我们实际检查时，情况不是这样。

在20世纪50年代，当第二次世界大战后开始引进计算机时，科学家提出了能进行不可思议的技艺表演的机器的概念，这些机器能拾起木块、玩跳棋，甚至解代数问题，一时让公众眼花缭乱。看上去好像真正智能的机器就要出现了。公众感到吃惊；很快大量的杂志文章匆匆预言什么时候机器人能够进入每个人的厨房，烹饪食物或清洁房间。在1965年，人工智能的先驱赫伯特·西蒙（Herbert Simon）宣称：“机器将在20年内能够做一个人能做的任何工作。”但是现实不是这样。下棋机赢不了下棋专家，仅仅能够下棋而已。这些早期的机器人就像有一技之长的小马，只能执行简单的任务。

事实上，在20世纪50年代人工智能取得了实际突破，但是这个进展被太夸大了，说得太过头了，结果适得其反。在1974年，在一片批评的合唱声中，美国和英国政府切断了资金，人工智能的第一个冬天来了。

今天，当人工智能研究员保罗·亚伯拉罕（Paul Abrahams）回忆20世纪50年代那个鲁莽的时期时，他摇着他的头，他那时还是麻省理工学院的一个研究生，充满了幻想，似乎无所不能。他回忆说：“那时的情况就好像一群人建议建一个通向月球的塔。每一年他们都骄傲地说这个塔比去年又高了多少。唯一的问题是月亮并没有离得更近。”

在20世纪80年代，对人工智能的热情又一次达到高峰。这一次，五角大楼倾注几百万美元到智能卡车这样的项目。这种卡车将能够行进到敌人防线之后，进行侦察，营救美军，回到总部，完全靠它自己。日本

政府甚至倾注全力到雄心勃勃的第五代计算机系统项目上，它是由强大的日本国际贸易和工业部发起和赞助的。这个项目的目标，除了其他之外，是要研制一个计算机系统，它能会话、有充分的分析能力，甚至能预见我们想要什么，全都要在20世纪90年代之前实现。

不幸的是，智能卡车做的唯一一件事是迷了路。而第五代项目在吹嘘了多次之后毫无声息地未加任何解释地放弃了。事实上，在20世纪80年代人工智能取得了进步，但由于过于夸张，第二次回潮开始了，造成人工智能的第二个冬天。资金又一次枯竭，醒悟的人们成群地离开这个领域。很显然，令人痛心的是一些有价值的东西丢失了。

在1992年举行的纪念电影《2001》的特别庆祝会上，人工智能研究人员的心情是错综复杂的。在这部电影中，被称为HAL9000（高级体系结构9000）的计算机变得发狂，残杀了飞船上的全体人员。这部影片在1968年拍摄，预计到1992年会有机器人，它能够就几乎任何题目和任何人对话，还能指挥飞船。不幸的是，人们痛苦地认识到即使最先进的机器人也很难赶上一个臭虫的智力。

在1997年IBM的“深蓝”（Deep Blue）机器人取得了历史性的突破，它决定性地打败了国际象棋世界冠军加里·卡斯帕罗夫（Gary Kasparov）。“深蓝”是一个工程奇迹，一秒钟运算110亿次。然而，它没有打开人工智能研究和进入新时代的潮水的大门，而是相反。它仅仅突出了人工智能研究的初衷。说到反应，显然对很多人来说“深蓝”机器人不能思索。它在下棋上很优秀，但智商测验得分却为零。在这个胜利之后，与新闻界进行所有对话的是输者加里·卡斯帕罗夫，因为“深蓝”机器人根本不会说话。人工智能研究人员开始勉强认识到这个事实，麻木不仁的计算能力并不等于智力。人工智能研究员理查德·黑克勒（Richard Heckler）说：“今天，你花49美元就能买到几乎能够打败世界冠军的国际象棋程序，但没有人会认为它们是智能的。”

但是，随着摩尔定律每18个月就催生新一代的计算机，过去一代老的悲观主义将或迟或早被渐渐遗忘，新一代的乐观的热心家将取而代之，在这个曾经停顿的领域产生重建的乐观主义和能量。在上一个人工智能研究冬天回潮之后30年，计算机取得巨大进展，使新一代人工智能研究人员又开始对未来做出有希望的预测。时间又最终回到人工智能，它的支持者说。这一次是真的。第三次努力是幸运的和有魔力的。但是如果他们是对的，人将很快成为废物吗？



人的大脑是数字计算机吗？

一个基本的问题是，就像数学家现在认识到的，他们在50年前犯了一个重大的错误，认为大脑类似于大型数字计算机。但是现在人们痛苦地认识到，显然不是这样的。大脑没有奔腾芯片，没有视窗（Windows）操作系统，没有应用软件，没有CPU，没有程序设计，没有子程序，而这些都是现代数字计算机的代表。事实上，数字计算机的结构与大脑截然不同。大脑是某种类型的学习机器，是一个神经细胞（即神经元）的集合，每当它学会一个任务后就会自己不断地重新接线。（然而，计算机根本不学习，你的计算机昨天是个哑巴，今天仍然是个哑巴。）

因此至少有两种方法模拟大脑。第一个，从上到下的方法，它是将机器人处理成数字计算机，从一开始就编制所有的智能规则。一个计算机可以依次拆解成某些叫做图灵机（Turing machine）的东西，这是由伟大的英国数学家阿兰·图灵（Alan Turing）提出的假想的设备。一个图灵机由三个基本构件组成：输入，中央处理器消化输入的数据，输出。所有的数字计算机都是根据这个简单的模式。这个方法的目标是有一张光盘，上面编制了所有的智能规则。插入光盘，计算机突然就变活了，有智能了。因此，这个神秘的光盘含有所有创建智能机器所需的所有软件。

然而，我们的大脑根本没有程序或软件。我们的大脑更像一个“神经网络”（neural network），一个复杂的、一堆杂乱的、不断自己重新连接的神经元（即神经细胞）。

神经网络遵循赫布规则（Hebb's rule）：每当做出一个正确的决定，这些神经通路就得到增强。它是在每次成功完成一个任务后，通过简单地改变神经元之间的某些电的连接强度实现这个功能。（赫布规则可以用一个古老的问题来表示：一个音乐家如何到达卡内基大厅？回答是：练习、练习、练习。对于一个神经网络，练习使其完善。赫布规则也能够解释为什么坏习惯如此难改，因为坏习惯的神经路径是根深蒂固的。）

神经网络是基于从下到上的方法。不是用勺子喂养的方式输入所有的智能规则，神经网络是按照婴儿学习的方式进行学习的，靠磕磕碰碰接触事物和靠经验学习。神经网络不是应用编程，而是按古老的方式，通过“学校艰苦的灌输”进行学习。

神经网络与数字计算机的结构完全不同。如果你去掉数字计算机中央处理器的一个晶体管，计算机就会瘫痪。然而，如果你去掉一大块人的大脑，它仍然能够工作，其他的部分将取代丢失的部分。此外，可以精确地找出数字计算机是在哪里思考：是在它的中央处理器。然而，大脑扫描清楚表明，思考是散布在大部分的大脑上。不同的部分按精确的顺序激活，思想就好像乒乓球一样到处跳来跳去。

数字计算机能够以几乎是光的速度进行计算。相反，人的大脑是难以置信的慢。神经脉冲传播的速度相当慢，大约每小时200英里（322公里）。但是大脑可以弥补这一点，因为它是大量平行运算的，有1000亿个神经细胞在同时运作，每一个神经细胞进行一小点计算，每一个神经细胞连接10000个其他神经细胞。在一次比赛中，一个超快的单个处理器不如超慢的平行处理器。（这就回到一个古老的谜：如果一只猫一分钟吃掉一只老鼠，100万只猫需要多少时间吃掉100万只老鼠呢？答案是：1分钟。）

此外，大脑不是数字的。晶体管是一个门，可以打开或关闭，代表1或0。神经元也是数字的（可以激发或不激发），但它们也可以是模拟的，可以传递连续信号，也可以传递离散信号。



机器人的两个问题

由于与人脑相比计算机有明显的局限性，人们才能认识到为什么计算机不能完成人们轻而易举就能完成的两个关键任务：模式识别和常识。这两个问题使得过去半个世纪找不到解决方案。这就是为什么我们不能有机器人女仆、男管家和秘书的主要原因。

第一个问题是模式识别。机器人比人还看得清楚，但它们不懂看到的是什么。当一个机器人在房间内走动时，它把看到的图像转换成一大堆小点。通过处理这些小点，它能够识别线、圆形、正方形和矩形。然后，机器人试图将这一大堆点，一个一个地与它存储器中存储的物体比较，即便是对于计算机来说这也是一个特别繁重的任务。经过很多小时的计算，机器人才能将这些线与椅子、桌子和人匹配。与之相反，当我们走进房间，只需几分之一秒，我们就能识别椅子、桌子、书桌和人。的确，我们的大脑主要是一个模式识别机。

第二，机器人没有常识。尽管机器人比人的听力还要好，它们不理

解听到的是什么。例如，考虑一下下面的陈述：

- 孩子喜欢糖但不喜欢惩罚
- 绳子可以拉但不能推
- 棍子能够推但不能拉
- 动物不能说话和不懂得英语
- 旋转让人感到眩晕

对于我们来说，这些陈述只是常识。但是对于机器人来说却不是这样。没有逻辑或程序证明绳子可以拉但不能推。我们是通过经验知道这些“明显”的陈述是对的，而不是因为在我们的记忆中有编制的程序。

自上而下的方法的问题在于，需要很多行的代码才能模拟人的常识。例如，需要几亿行的代码才能描述一个6岁孩子所知道的常识的规律。位于卡内基梅隆的人工智能实验室前主任汉斯·莫拉维克（Hans Moravec）悲哀地说：“到今天为止，人工智能程序没有显示一点常识的判断力，例如，一个医疗诊断程序面对一辆破自行车，它可能开出一个抗生素的处方，因为它没有人、疾病或自行车的模型。”

然而，有些科学家坚持相信掌握常识的判断力的唯一障碍是没有理性的力。他们感到，一个新的曼哈顿项目，像建造原子弹那样的计划将肯定会解决常识的判断力问题。一个未能实现的要建立“思想百科全书”（encyclopedia of thought）的计划叫做CYC，开始于1984年。它想要成为人工智能的最高的成就，这个项目要把所有常识的判断力的秘密解码编制成简单的程序。然而，经过几十年艰苦的工作，CYC项目未能实现它自己的目标。

CYC的目标是简单的：“到2007年，掌握一些典型的人所知道的周围世界的1亿件事情。”最终期限和很多以前的目标都没能实现。CYC工程师所奠定的每一块里程碑来了又去了，但是科学家一点也没有接近掌握智能的精髓。



人和机器

我曾经有机会和机器人比智慧，那是一场和麻省理工学院的托马索·波焦（Tomaso Poggio）建造的一个机器人的比赛。尽管机器人不能像我们一样识别简单的模式，但波焦能够创建一个计算机程序，在一个特

定的领域中："立即识别"，它能像人一样计算得那样快。这是我们的离奇的能力，立刻识别一个物体，甚至在我们觉察到它之前。（立刻识别对于人类进化十分重要，因为我们的祖先只有一刹那的时间确定是不是有老虎潜伏在矮树丛里，甚至在他们完全意识到它的存在之前。）在一个特定的视力识别试验中，机器人在第一时间里不止一次地胜过了人。

机器和我的比赛很简单。首先，我坐在椅子上，盯着一个普通的计算机屏幕。然后，一个图片在屏幕上闪烁一下，我必须尽快地按两个按钮之一。我必须尽可能快地做出决定在这张图片上是有动物还是没有，甚至要在我有机会看清这张图片之前。计算机也要对同一张图片做出决定。

令人难堪的是，在经过很多次快速的试验之后，机器和我不分上下。但是有几次机器的得分比我略高一些，让我灰心丧气。我被机器打败了。（当有人告诉我计算机得到正确答案的次数占82%，人的得分平均仅80%，这让我得到一些安慰。）

波焦设计的机器的关键是它复制了大自然母亲的经验。很多科学家从下面这句话里认识到这个真理："车轮已经发明了，所以为什么不复制它呢？"例如，通常当一个机器人看一张图片时，它试图把它分成一系列的线、圆形、正方形或其他的几何图形。但是波焦不这样做。

当我们看一张图片时，我们也许会首先看各种物体的轮廓，然后看每个物体内部的各种特点，然后是这些特征内部的颜色深浅。这样我们就把图像分成了很多层。在计算机处理了一层图像之后，它就把这一层和下一层结合起来，等等。用这种方法，一步一步地，一层一层地模拟了我们大脑处理图像的层次方法。（波焦的程序不能实现我们认为是理所当然的模式识别的所有技巧，如3D可视化物体，从不同角度识别成千上万的物体等，但它在模式识别上确实代表了一个重要的里程碑。）

后来，我有机会看到从上到下和从下到上两种方法都在起作用。我首先去了斯坦福大学人工智能中心，在这儿我遇到斯坦福人工智能机器人斯泰尔（STAIR），它用的是从上到下的方法。斯泰尔大约4英尺（1.22米）高，有巨大的机械臂能够旋转和从桌子上抓取东西。斯泰尔也是可移动的，能在办公室或家里漫步。这个机器人有一个3D相机锁定物体，将3D图像送入计算机，指导机械臂抓物体。自20世纪60年代开始机器人已经像这样抓物体了，并且我们在底特律汽车制造厂看到这些机器人。

但光看外表是不够的，斯泰尔（STAIR）能做的事情要多得多。与底特律的机器人不同的是，斯泰尔不是照本宣科的。它靠自己操作。例如，如果你要它拾取一个橘子，它能够分析桌子上的各种物体，将它们与已经存储在它的存储器中的成千上万的图像比较，然后识别橘子，并拿起它。它也可以通过抓一个物体，让它转动来更精确地识别物体。

最终是要斯泰尔能在家里和办公室的环境中操作，拾取和利用各种物体和工具，甚至与人进行简单语言的对话。用这种方式，它将能够做一个办公室中的勤杂工能做的任何事情。斯泰尔是一个从上到下的方法的一个例子：从一开始，每一件事物都是编制程序到斯泰尔中的。（尽管斯泰尔能够从不同角度识别物体，但是它能识别的物体的数量是有限的。如果让它走出去和识别随机遇到的物体，它就会茫然不知所措了。）

后来，我有机会访问了纽约大学，在这里杨·莱库恩（Yann LeCun）正实验一种全新的设计，拉格尔（LAGR），一个路面学习型机器人（Learning applied to ground robots）。这个机器人是一个从下到上方法的例子：它必须通过与事物的接触从最开始学习。它的尺寸像一个小高尔夫手拉车那么大，有两个立体声彩色摄像机扫描地形，识别路径上的物体。然后它在这些物体中间走动，仔细避开这些物体，每通过一次就学习一次。它装备有GPS和两个红外传感器，能够检测前面的物体。它含有3个高功率的奔腾芯片，与吉比特量级的以太网（gigabit Ethernet）相连。我走到附近的公园，在这里机器人可以漫步在放在它路径上的各种障碍物之间。每一次它越过障碍，它就能更好地避开障碍物。

拉格尔和斯泰尔一个重要的差别是，拉格尔是特别设计进行学习的。每一次拉格尔碰到某物，它就绕开这个物体，下一次它就知道避开这个物体了。在斯泰尔的存储器中存储了成千上万的图像，而拉格尔的存储器中几乎没有任何图像，而是产生了它所碰到的所有障碍物的智力映射图，每通过一次就不断完善一次。无人驾驶汽车是编程的，遵循由GPS事先设置的路线，与此不同的是，拉格尔全靠自己移动，没有任何人的指令。你告诉它去哪儿，它就启动。最终，像这样的机器人也许会用到火星、战场和我们的家中。

一方面，这些研究人员的热情和能力给我留下深刻的印象。在他们的心中，他们相信他们正为人工智能铺平道路，并且终有一天他们的工作将以我们刚刚开始理解的方式影响社会。但是从另一方面看，我也认识到他们还有多远的路程要走。甚至蟑螂都能识别物体，学会绕过它们。而我们仍然处在大自然母亲创造的最低级生物的智能都能够胜过我们最智能的机器人的阶段。



专家系统

今天，很多人家里有简单的机器人，可以用真空吸尘器打扫地毯。还有机器人安全警卫夜里在大楼周围巡逻。还有机器人导游和工厂的机器人工人。在2006年，据估计在家里和大楼里有95万个工业机器人和354万个服务机器人。但是在未来几十年，机器人的领域会向几个方向发展。但是这些机器人看上去不像科幻中的机器人。

影响最大的领域可能是所谓的专家系统，软件程序把人类的经验和智慧编码在这个系统中。正如我们在第1章看到的，总有一天我们会对着墙幕上的因特网讲话，与机器人医生和机器人律师和蔼的面孔对话。

这个领域被称为是探问式的，即遵循一个正式的、基于一定规则的系统。当我们需要计划一个假期时，我们对着墙幕上的面孔说话，告诉它这个假期我们想做什么：多长、去哪、什么旅馆、价格范围。这个专家系统从过去的经验已经知道我们的爱好，然后联系旅馆、航班等，给我们最好的选择。但是与它讲话不是以一种随随便便的谈话方式，而是要使用它能够理解的、非常正式的、程式化的语言。这样的系统可以迅速执行任何数量的有用的家庭杂务。你只要给出命令，它就能在餐厅订座位、查看商店的位置、订购杂货和外卖、订飞机机票等等。

它之所以如此精确，是因为过去几十年在探问式方法学习取得的进展，让我们今天有了一些相当简单的搜索引擎。但它们仍然是粗糙的。对每个人来说，显然你打交道的是机器，而不是人。然而，在将来，机器人会变得如此完善，外表几乎和人一样，能够细致地完善地进行无缝的操作。

也许最实际的应用将是医疗。例如，在目前如果你感到不舒服，你要在急救室等几个小时才能看到医生。在不远的将来，你只要走向墙上的屏幕对机器人医生讲话。你按一下按钮就可以改变你看到的机器人医生的脸，甚至它的个性。你在墙幕上看到的和蔼可亲的脸将问你一组简单的问题：你感觉怎样？哪儿不舒服？疼痛什么时候开始的？经常疼痛吗？

每一次，你从一组简单的答案中选择一个答案回答。你回答问题时不需要敲键盘，说话就行了。

你回答的每个问题将又促使机器人医生提出下一组问题。在一系列这样的提问之后，机器人医生将根据世界上的医生的最好经验给出诊断。机器人医生还会根据来自你的浴室、衣服、家具，通过DNA芯片不断监视你的健康得出的数据进行分析。还可能用手提磁共振成像扫描仪检查你的身体，再用超级计算机分析。〔一些初步的这种探问式程序已经有了，如WebMD（药物与人网站），但它们还不能探问细微之处，也没有探问的全部功能。〕

大多数去医生办公室的患者可以用这种方式排除，极大地减缓医疗系统的压力。如果问题严重，机器人医生会推荐你去医院，由医生提供透彻的治疗。但就是在这儿，你会看到机器人护士，像阿西莫那样的人工智能程序。这些机器人护士不是完全智能的，但能够从医院的一个房间走到另一个房间，给予患者适当的药物，或关照他们的其他需要。它们能够在地板的滑轨上移动，或者像阿西莫那样独立地行走。

RP-6可移动机器人是一个已经存在的机器人护士，它配置在加利福尼亚洛杉矶分校（UCLA）医疗中心这样的医院里。它基本上是一个电视屏幕，放在可在滚轴上移动的计算机的顶部。在这个电视屏幕上，你看到一位真正的也许在几英里之外的内科医生的脸。机器人上有一个照相机使医生可以看到机器人在看什么。还有一个麦克风使医生可以和患者说话。医生可以通过操纵杆控制机器人、与患者互动、监控药物等。因为每年在美国有500万患者需要细致地治疗，而有资格处理危急病人的医生只有6000人，在紧急治疗中这样的机器人可以帮助缓解这个危机。在将来，像这样的机器人会变得更加自治，能够靠它们自己操作和与患者互动。

在这个技术上日本是世界领先者之一。日本花了如此多的钱在机器人上，以减轻医疗所面临的危机。回顾一下就不会奇怪为什么日本会在机器人方面是领先的国家之一，有以下两个理由。首先在于日本的道教相信没有生命的物体是有灵魂的。甚至机器也不例外。在西方，儿童看见机器人时会恐怖地尖叫起来，特别是在看了太多的有关狂暴的杀人机器之后。但是对于日本的孩子来说，机器人被看成是亲人，是好玩的和有帮助的。在日本，当你走进商店时看到机器人招待员向你问候已不少见了。事实上，世界上所有商业机器人的30%在日本。

第二，日本面临一个人口的噩梦。日本的老年人口迅速增加。出生率降到令人惊异的一个家庭仅1.2个孩子。有些人口统计学家说，我们正看着一列火车在缓慢运动中坠毁：在未来的年代，一个人口统计学的列车（人口衰老和出生率降低）将与另一列火车相撞（外来移民率低）。在医疗领域会更尖锐地感到这一点。因此像阿西莫这样的护士会是非常有用的。像阿西莫这样的机器人对于完成医院的任务是理想的，如抓药、送药和一天24小时监测患者。

中期（2030—2070）

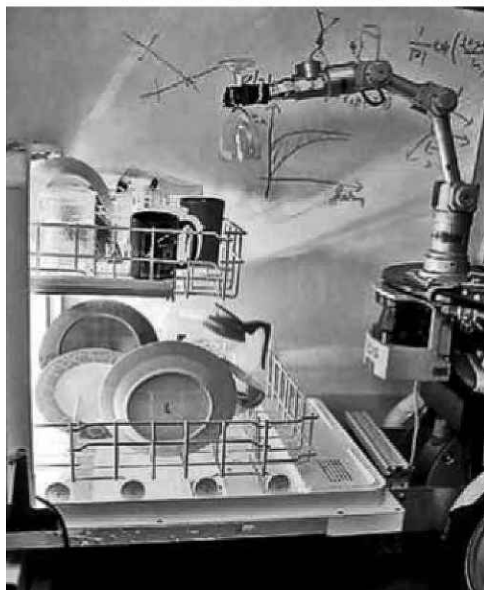


模块机器人

到本世纪中期，世界上将到处是机器人，但我们可能注意不到。这是因为大多数机器人没有人的形状。它们可能隐藏着看不见，乔装成蛇、昆虫和蜘蛛，进行不愉快的但是非常重要的任务。这些是模块式机器人，可以根据任务改变形状。

我有机会遇见一位模块机器人的先驱之一，南加利福尼亚大学（USC）的魏明·舍恩（Weimin Shen）。他的想法是创建可以像乐高（Lego）模块那样可以互相变换和随意拼接的小立方模块。他把它们叫做多形态机器人，因为它们能够改变形状和功能。在他的实验室中，我能够看出他的方法和斯坦福及麻省理工学院方法的差别。在表面上，这两个实验室都像孩子们梦想的儿童游乐室，会走的、会说话的机器人到处都是。当我访问斯坦福和麻省理工学院的人工智能实验室时，我看见各种各样的机器人“玩具”，在这些玩具中有芯片，还有智能。工作台上到处都是机器人飞机、直升机、卡车、里面有芯片的昆虫形状的机器人，全都自己在动。每一个机器人是一个设备齐全的个体。（图5）





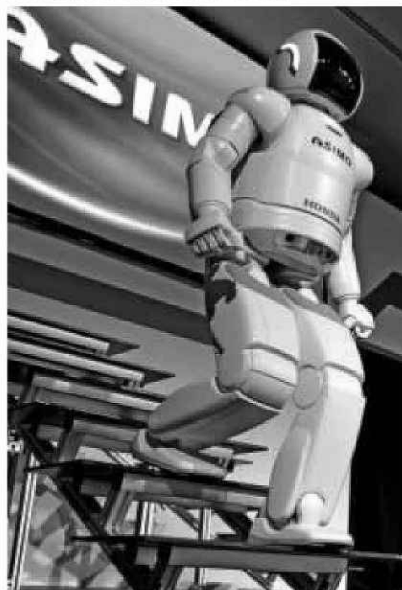


图5　各种类型的机器人：拉格尔（**LAGR**）（上图），斯泰尔（**STAIR**）（左下）和阿西莫（**ASIMO**）（右下），尽管计算机的能力有了巨大的增加，但是这些机器人的智力只和蟑螂的智力一样。

但是走进南加利福尼亚大学（USC）实验室，看到的东西则全然不同。你看到立方模块的盒子，每个大约2平方英寸（12.9平方厘米），能够组合或拆开，使你能够创造各种像动物一样的创造物。你可以制作成一条线像在地上爬的蛇，或像铁环一样的圆圈在地上滚。然后你可以扭曲这些立方块，或用Y形接头把它们勾接起来，这样就可以创造一组完全新的像章鱼、蜘蛛、狗或猫的设备。这些灵巧的乐高玩具（Lego），每一块都是智能的，能按任何可以想象的配置安排组合自己。

为了穿越障碍这会是很有用的。如果一个蜘蛛形状的机器人在下水

道系统中爬行，碰到一堵墙，它会首先在墙上找到一个洞，然后把自己拆开。每一块穿过洞去，在墙的另一面重新组合在一起。用这种方式，这些模块机器人将会无法被阻止，能够越过大多数障碍。

这些模块机器人在维修腐朽的基础设施工作中是至关重要的。例如，在2007年，在明尼阿波利斯（Minneapolis）的密西西比河上的桥坍塌了，死了13人，伤145人。大概原因是桥衰老了、过载了和有设计缺陷。整个国家大约有几百个类似的事故可能发生，但是要监视每一座腐朽的桥和进行修理需要的费用太高了。这正是模块机器人大有用武之地时，用它们默默地检查桥梁、道路、隧道、管道、电站和必要时进行修理。（例如，一架通向下曼哈顿岛的桥，由于腐蚀、忽视和缺乏修理受损严重。一个工人发现一个自桥梁上次油漆后留下的20世纪50年代的可乐瓶子。实际上，近来一段老化的曼哈顿桥已危险地接近崩溃的边缘，必须关闭修理。）



机器人外科医生和厨师

机器人可以用做外科医生、厨师和音乐家。例如，外科医生一个重要的局限性是手的灵巧性和精确性。外科医生，像其他人一样，在很多小时的工作后会变得疲劳，效率降低。手指变得颤抖。机器人可以解决这个问题。

例如，传统的心脏搭桥外科手术涉及在胸腔中间打开一个1英尺（30.5厘米）长的伤口。打开胸腔增加了感染的可能性，延长了恢复时间，造成恢复过程中剧烈的疼痛和不舒适，并留下畸形的伤疤。但是达·芬奇（da Vinci）机器人系统极大地减少了这些危害。达·芬奇机器人有4个机器人手臂，1个操作视频相机，3个用于精确手术。它在身体的侧面只开几个小的伤口，而不是在胸口开一个长的伤口。在欧洲、北美和南美有800家医院使用这个系统，在2006年仅用这个机器人就做了48000个手术。还可以通过因特网遥控进行这样的手术，这样就可以对另一大陆孤立的乡村地区的患者进行大城市中的世界级的手术。

在将来，用更先进的设备通过操纵微观解剖刀、镊子和缝合针，能够对精细的血管、神经纤维和组织进行外科手术。事实上，划开皮肤的外科手术会极少见到。非侵入手术将成为标准。

内诊镜（插入身体内的长管子，能照明和切割组织）将变得比丝线

还薄。比句子末尾的句号还要小的微型机将做大部分机械工作。〔在最早的《星际迷航》电影的一个场景中，麦科伊（McCoy）医生坚决反对20世纪的医生不得不切开皮肤的做法。〕所有这些将成为现实的一天快要来了。

将来的医学系学生将学习切开人体的虚拟3D图像，他的手的每一个动作都是由另一个房间中的机器人复制的。

日本人也非常擅长生产在社会交际方面与人互动的机器人。在名古屋，有一个机器人厨师能在几分钟的时间内烹调出标准的快餐。你只要在菜单上点你要的东西，这个厨师就在你面前为你烹调你要的食物。工业机器人公司爱成（Aisei）制造的这个机器人可以在1分40秒煮好面条，顾客多的时候一天80碗。机器人厨师很像底特律汽车装配线上的机器人，有两个大的机械臂，通过精确的编程按一定次序动作。然而，这个机器人不是螺丝固定的和金属焊接起来的，这个机器人的手指从一系列含有调味品、肉、面粉、酱油和香料的碗中抓取各种成分。经这个机器人的手臂混合，然后制成三明治、色拉或汤。爱成（Aisei）厨师看上去像一个机器人，像从厨房柜台伸出的两只巨大的手。但是正在计划中的其他模型开始看上去更像人。

还是在日本，丰田汽车创造了一个机器人能拉小提琴，几乎和专业人员拉得一样好。它类似阿西莫（ASIMO），只是它能抓住小提琴，随着音乐摇摆，然后优美地演奏复杂的小提琴乐章。演奏的声音是令人惊讶的真实，并且这个机器人还能做出像音乐大师一样庄严的手势。尽管演奏的音乐还达不到音乐会小提琴家的水平，但是娱乐听众足矣。当然，在上一个世纪已有机械的钢琴机器，它演奏记录在大的转动磁盘上的曲调。像这些钢琴机一样，丰田的机器人也是编程的。但差别是丰田的机器人是专门设计用来以最真实的方式模拟小提琴演奏家的姿势和手势的。

日本早稻田（Waseda）大学的科学家也制作了一个机器人笛子演奏家。这个机器人的胸膛里含有空腔，像肺一样，向真的笛子吹气。它可以演奏极复杂的悦耳的音调，如“大黄蜂的飞行”（The Flight of the Bumblebee）曲。这个机器人不能创作新的音乐，但我们要强调的是，它们在表演音乐的能力上可与人类匹敌。

机器人厨师和机器人音乐家是仔细编程的。它们不是自治的。尽管这些机器人与老的演奏钢琴机相比更加完善，它们的操作原理仍然是相同的。真正的机器人女仆和男管家还是遥远将来的事。但是机器人厨师、机器人小提琴家和笛子演奏家的后代也许有一天会植入我们的生活，执行曾经认为只有人才有的基本功能。



有情感的机器人

本世纪中期，将可能是有感情的机器人鲜花盛开的时代。

在过去，作家曾幻想渴望成为人类和有感情的机器人。在《皮诺奇》（*Pinocchio*）中，一个木偶希望成为真正的孩子。在《绿野仙踪》（*Wizard of Oz*）中，铁皮人（Tin Man）想要心脏。在《星际迷航：下一代》（*Star Trek*：*The Next Generation*）中，机器人达塔（Data）试图通过讲笑话和找出是什么使人发笑来掌握情绪。事实上，在科幻中，一个反复出现的主题是，尽管机器人可以变得更加聪明，但它们永远不会有感情的精髓。机器人也许有一天比我们更聪明，但一些科幻作家声称，它们永远不会哭。

实际上，这也许不是真的。科学家现在理解了感情的真实性质。首先，感情告诉我们对于我们来说什么是好的，什么是有害的。世界上绝大多数的事情或者是有害的，或者不是很有用的。当我们体验“喜欢”这种感情时，我们是在识别环境中对我们有益的一小部分事情。

实际上，我们的每一个感情（恨、嫉妒、害怕、爱等）进化了几百万年，以保护我们避开来自敌对世界的危险和帮助我们繁衍。每一种感情帮助我们，将我们的基因传到下一代。

对于南加利福尼亚大学的神经学家安东尼·达马西奥（Antonio Damasio）来说，感情在我们进化中所起的关键作用是明显的。他分析了大脑受伤或疾病的受害者。在这些患者中有一些人，他们的大脑思维部分（大脑皮层）和感情中枢（位于大脑中心的深处，像杏仁核一样）之间的连接被切断了。这些人看上去是完全正常的，只是很难表达感情。

一个问题立刻变得明显：他们不能做出选择。购物是一场噩梦，因为每一件东西对他们来说价值是相同的，不管它是昂贵的还是便宜的，俗气的或精致的。设定一个约会日期几乎是不可能的，因为未来的所有日期是一样的。他们似乎“知道，但不能感受到”。他说。

换句话说，感情的一个主要目的是给我们价值，这样我们就能决定什么是重要的，什么是昂贵的，什么是漂亮的，什么是珍贵的。没有感情，万物的价值是相同的，我们会由于无止境的决定搞得麻痹，所有的事情都分量相同。因此科学家现在开始理解感情远非奢侈品，而是对智

能非常重要的。

例如，当我们看《星际迷航》时，会认为斯波克（Spock）和达塔（Data）执行它们的任务是不带任何感情的，现在你立刻认识到问题在哪了。在每一个回合，斯波克和达塔都表现了感情：它们进行了一长系列的价值判断。它们确定当一名官员是重要的，这对于执行任务是至关紧要的，它们认识到联邦政府的目标是崇高的，人的生命是珍贵的，等等。因此，要找到一个全无感情的官员是不可能的，只是一个幻想。

有感情的机器人也是一个生死攸关的事情。在将来，科学家将能够创造救生机器人，能派到火灾、地震、爆炸等现场。它们将不得不进行成千上万的，有关救谁、救什么、按什么次序的价值判断。勘测它们周围的所有损坏，按照优先权对它们面临的各种任务排队。

感情对于人类大脑进化也是非常重要的。如果你看大脑的总的解剖学特点，你会注意到这些特点可以分组形成三大类别。

首先是爬虫类大脑，在头骨底部附近，它构成爬虫类大脑的大部分。初步的生命功能，如平衡、进攻、保护领地和寻找食物是由这部分大脑控制的。（有时，当你盯住一条蛇，它又反过来盯住你时，你得到一种爬行的感觉。你惊讶，蛇在想什么呢？如果这个理论是正确的，那么这条蛇根本没有想太多，只是想你是不是它的午餐。）

当我们看更高级的生物体，我们看到它们的大脑向头骨前方扩大。再上一个等级，我们发现猴子的大脑，或大脑边缘系统，位于我们大脑中心。它包括像杏仁核这样的部分，是与处理感情有关的。成群生活的动物有特别的发展良好的大脑边缘系统。成群结队捕猎的群居动物要求高度的脑力理解群居的规则。因为在荒野中生存依赖与其他个体的合作，但是因为这些动物不能讲话，这意味着这些动物必须通过身体语言、呼噜声、哀鸣声和姿势交流它们的感情状态。

最后是大脑的前面和外层，即大脑皮层，它定义人性和管理合理的思维。其他的动物是受直观和遗传控制的，而人类利用大脑皮层进行思维。

如果这些演化的进程是正确的，这意味着感情在创造自治机器人时将起着至关重要的作用。至今为止，我们创造的机器人只能模拟爬虫的大脑。它们能够走、搜索周围、拾取物体，但仅此而已。在另一方面，群居动物比爬虫的大脑的智力要高。为了掌握群居的规则，群居的动物需要感情。因此科学家在他们能够模拟大脑边缘系统和大脑皮层系统之前还有很长的路要走。

麻省理工学院的辛西娅·布雷齐尔（Cynthia Breazeal）实际上创造了一个机器人，它是特别设计用来处理这个问题的。这个机器人是克斯梅特（KISMET），有一个像恶作剧的淘气鬼的脸。它看上去好像活的，能用代表感情的面部动作对你做出反应。克斯梅特通过改变它的面

部表情复制各种各样的感情。事实上，与这个像孩子一样的机器人互动的妇女常常用“妈妈的口吻”和它讲话，就像母亲对婴儿和孩子讲话一样。尽管克斯梅特这样的机器人是设计用来模拟感情的，科学家并没有奢望这种机器人能实际地感觉感情。在某种意义上，这就好像一个编程的磁带记录器，不是产生声音而是产生面部表情一样，不能回答它在做什么。但是克斯梅特的突破在于，它的设计不是要创造一个能够模拟类似于人的感情的机器人。

这些有感情的机器人将会进入我们的家庭。它们不会是我们的知己、秘书或女仆，但是它们能够按照启发式的方式执行基于规则的程序。到本世纪中期，它们可能会有狗或猫的智力。像宠物一样，它们将会表示它们与主人之间有感情连接，这样主人就不会随便把它们抛弃。你还不能用口语语言和它们讲话，但它们懂得用程序编制的命令，也许几百条吧。如果你要它们做一些在它们的存储器中没有的事情，它们就会显得很尴尬，无所适从。（如果到本世纪中期，机器狗和猫能够复制所有的动物响应，和真实的动物行为没有区别，那么问题就出现了，是不是这些机器动物有感觉，或是不是与普通的狗或猫一样聪明。）

索尼（Sony）在制造人工智能机器人爱宝（AIBO）狗时，对这些有感情的机器人进行了试验。这是第一个玩具能够真实地有感情地对主人做出反应，虽然只是初步的方式。例如，你拍拍爱宝狗（AIBO）的背，它就会立刻开始低声地咕噜，发出抚慰的声音。它能走，能对声音命令做出反应，甚至某种程度上能学习。爱宝（AIBO）不能学习新的感情，也不能对新的感情做出回应。（这个项目在2005年由于经费问题中断了，但是自从这个公司有了忠心的下属更新计算机软件以后，爱宝能够执行更多任务。）在将来，机器宠物可能会成为孩子们的情感附属品，成为普通的常有的东西。

尽管这些机器人宠物将会有大的感情库，将成为孩子们的附属品，但它们不能感觉实际的情感。



分解大脑的逆向工程

到本世纪中期，在人工智能的历史上我们将能够完成下一个里程碑：分解人类大脑的逆向工程。科学家为不能生产由硅和钢制作的机器人而感到灰心，他们又尝试相反的方法：一个神经元一个神经元地分解大脑，就像一个机械师一个螺丝一个螺丝地取下一个马达，然后在巨型

计算机上模拟这些神经元。这些科学家还系统地试图模拟动物神经细胞的活动，从老鼠、猫开始，沿着动物进化的阶梯一级一级向上。这个目标非常明确，到本世纪中叶有可能实现。

麻省理工学院的弗雷德·哈普古德（Fred Hapgood）写道："如果发现了大脑怎样工作，它是怎样'精确地'工作的，就像我们知道马达怎样工作的那样，那么几乎图书馆中的每一本教科书都要重写。"

分解大脑逆向工程的第一步是理解大脑的基本结构。就是这一步也是一个漫长的痛苦的过程。历史上，大脑的各个部分是在尸体解剖中鉴别的，不知道它们的功能。随后情况渐渐改变，科学家分析有脑损伤的人，注意大脑某部分的损伤与行为的相应改变。中风患者、有脑损伤和脑疾病的人呈现特定的行为变化，然后将行为变化与大脑的受伤部位相匹配。

最壮观的一个例子是在1848年，在美国佛蒙特州（Vermont），一根3英尺8英寸（1.118米）长的金属杆穿透了铁路工头菲尼亚斯·盖奇（Phineas Gage）的头颅。这个历史性的事故是在火药意外爆炸时发生的。这根金属杆从脸的侧面穿入，粉碎了他的下颚，进入大脑，从头的顶部穿出。像奇迹一样不可思议，他居然从这个可怕的事故中活过来了，尽管毁坏了他的一个或两个前脑叶。治疗他的医生开始时不相信任何人经过这样的事故还能幸存下来，并且仍然活着。他处于半知觉状态几周时间，但后来奇迹般地恢复了。他居然又活了12年多，做些零工和去旅游，死于1860年。医生仔细保留了他的头骨和金属杆，从那以后进行了大量的研究。现代技术CT扫描还用来重建这个不同寻常的事故的细节。

这个事件永远改变了"心身"（mind-body）问题这一当前流行的观点。以前，人们相信，甚至在科学家的圈子内，灵魂和身体是分开的实体。有人心照不宣地写到激活人体的"生命力"是独立于大脑的。但是广泛流行的报告说明盖奇的个性在事故后产生了显著的变化，从一个健康的外向的人变成爱骂人的和敌视的人。这些报告的影响增强了这样一种想法，大脑的特定部分控制不同的行为，因此身体和灵魂是不可分的。

在20世纪30年代又有了一个新的突破，像怀尔德·潘菲尔德（Wilder Penfield）那样的神经学家注意到，在为癫痫病人做大脑手术时，当他碰到大脑的某些连接点，病人的身体部位有刺激反应。接触大脑皮层的这一部分或那一部分可以引起手或腿动。用这种方法，他构造一个大脑皮层的哪一部分控制什么器官粗略的轮廓。结果，他可以重新绘制一个人的大脑图，一个相当奇怪的人体映射到大脑表面的图，看上去像一个有巨大的指尖、嘴唇和舌头，但身体很小的奇怪的小人。

更近一些时候，磁共振成像扫描给出了揭示思维大脑的图片，但不能追踪思想的特定的神经路径，也许仅涉及几千个神经元。但是近年来，一个叫做光遗传学（Optogenetics）的新领域把光和遗传学结合起

来拆开动物的特定的神经通路。类似地，这可以和试图创造一个路线图相比。磁共振成像扫描的结果类似于确定大的州际高速公路和高速公路上大的交通流动。但是，光遗传学也许能够实际上确定单个的道路和路径。在原则上，它甚至有可能通过刺激这些特定的路径控制动物的行为。

这又一次产生了很多令人感动的媒体故事。“德拉吉报告”（Drudge Report）的耸人听闻的大字标题惊呼：“科学家创造了遥控苍蝇。”这个媒体诉求遥控苍蝇的眼力去执行五角大楼的卑鄙的工作。在“今夜秀”（*Tonight Show*）节目中，杰·雷诺（Jay Leno）甚至说到一个遥控的苍蝇可以按照命令飞到乔治·布什的口中。尽管喜剧演员有了一个领地，大白天想象五角大楼按一下按钮控制一窝昆虫的奇异的场景，但现实却相差很远。

果蝇大脑中大约有15万个神经元。光遗传学使科学家能够激发果蝇大脑中与某一行为相应的神经元。例如，当果蝇的两个特定的神经元激活后，它就向果蝇发出逃跑的信号。然后，这个果蝇就会自动伸开腿，张开翅膀起飞。科学家能够从遗传上繁殖一群果蝇，每一次一个激光束打开时，它们的逃跑神经元就被激活。如果你将一束激光照在果蝇上，它们立刻起飞。

确定大脑结构的意义是十分重要的。我们不仅能够慢慢梳理开与一定行为相应的神经路径，还能利用这些信息帮助中风患者和其他受大脑疾病和事故折磨的病人。

牛津大学的盖罗·米森博克（Gero Miesenböck）和他的同事能够用这种方式鉴定动物的神经机制。他们不仅研究了果蝇大脑中反映逃跑的神经路径，也研究了反映气味的神经路径。他们研究了控制蛔虫寻找食物的神经路径。他们还研究了与老鼠做决定有关的神经路径。他们发现在果蝇中与激发行为有关的神经元少到只有两个，但是在老鼠做决定时激发的神经元大约有300个。

他们所用的基本工具是能够控制某些染色体产生的基因，还有能与光相互作用的分子。例如水母的一个基因能够产生绿色荧光蛋白质。此外，有很多分子，如视网膜色素能对光做出反应，当光照射在它们上面，可使离子通过细胞膜。用这种方式，照射在这些生物体上的光能够激发化学反应。有了这些染色体和光敏感化学物质，这些科学家能够首次拆开控制特定行为的神经回路。

因此，尽管喜剧演员喜欢开这些科学家的玩笑，说他们想创造可以用按钮控制的作法自毙的果蝇，但现实是，在历史上科学家首次追踪了大脑的控制特定行为的神经路径。



模拟大脑

光遗传学是第一步，也是初步的一步。第二步是要利用最新的技术模拟整个大脑。至少有两种方法解决这个庞大的问题，需要几十年艰苦的工作。首先是利用超级计算机模拟几十亿个神经元的行为，每个神经元又与几千个其他神经元相连接。另一个方法是实际找出每个神经元在大脑中的位置。

模拟大脑第一个方法的关键是简单的，依靠计算机的能力。计算机越大越好。无情的力量和不雅的理论也许是解决这个巨大问题的关键。“蓝色基因”（Blue Gene）也许是能够完成这个巨大任务的计算机。它是由IBM建造的地球上最强大的计算机。

当我游历位于加利福尼亚的劳伦斯利弗莫尔（Lawrence Livermore）国家实验室时，我有机会参观了这个像怪物一样的计算机，也是在这个地方他们为五角大楼设计氢弹头。它是美国首要的顶级秘密的武器实验室，占地790英亩（4799亩）的综合体，在一个乡村农村的中间，每年预算12亿美元，雇佣6800人。它是美国核武器军事组织的心脏。我必须通过很多道安检才能见到它，因为它是地球上最敏感的武器实验室。

最后，通过了一系列检查站，我进入了摆放IBM“蓝色基因”计算机的大楼，它的计算速度惊人，每秒500万亿次。“蓝色基因”非常壮观，占地1平方英里（2.59平方公里），由一排一排的喷成黑色的橱柜组成，每一个约8英尺（2.44米）高，15英尺（4.57米）宽。

当你走在这些橱柜之间时，你的体验是完全不同的。在好莱坞的科幻影片中，计算机有大量的闪烁的光、旋转的盘、划破空间的电闪，而这些橱柜却是完全安静的，只有微弱的光在闪。你认识到这个计算机在做每秒万亿次的复杂计算，但它工作时，你什么也听不到，什么也看不到。

让我感兴趣的是，“蓝色基因”正在模拟的是老鼠大脑的思维过程。老鼠的大脑有200万个神经元，而我们有1000亿个神经元。模拟老鼠大脑的思维过程比我们想的要艰难，因为每个神经元与很多其他神经元相连，形成一个密集的神经网络。但是当我走在构成“蓝色基因”的一排一排控制台时，我禁不住吃惊，这个令人惊骇的计算能力只能模拟老鼠的大脑，而且只有几秒钟。（这并不意味“蓝色基因”能够模拟老鼠的行

为。在目前，科学家只能勉强模拟蟑螂的行为。更确切地说，“蓝色基因”可以模拟在老鼠中发现的神经元激活，而不是它的行为。）

事实上，有几个组都集中精力在模拟老鼠的大脑上。一个野心勃勃的企图是位于瑞士的洛桑理工学院（École Polytechnique Fédérale de Lausanne）的亨利·马克拉姆（Henry Markram）的“蓝色大脑”项目。它开始于2005年，那时它得到了一个小型的“蓝色基因”计算机，仅有16000个处理器，但是在一年之内它成功地模拟了老鼠大脑的新皮层单元，即大脑新皮层的一部分，其中含有1万个神经元和1亿个连接。这是一个标志性的研究，因为它意味着完整地分析大脑一个重要成分——神经元与神经元——的结构分析在生物上是可能的。（老鼠的大脑由几百万个这样的单元组成，一再重复。这样，只要模拟这些单元中的一个，就可以理解老鼠的大脑是如何工作的。）

在2009年，马克拉姆乐观地说：“现在构建一个人类的大脑是不可能的，但在10年时间里我们将能够做到。如果我们正确地构建它，它应该像人一样说话，有智力，像人一样行动。”然而，他警告说，做到这一点需要的超级计算机需要比现在的超级计算机强20000倍，内存存储为当前因特网总内存的500倍。

因此，妨碍实现这个庞大目标的障碍在哪儿呢？对他来说，问题很简单：钱。

因为基础科学是知道的，他感到只要投钱进去就能成功。他说：“不是多少年的问题，是钱的问题……它是一个是否社会想要它的问题。如果他们想在10年要它，过10年他们就会有它。如果他们想1000年要它，我们就等吧。”

但是一个与其竞争的小组也在研究这个问题，聚集了历史上最大的计算能力。这个小组利用最先进的“蓝色基因”计算机，叫做“黎明”，基地也在利物浦。“黎明”计算机看上去让人敬畏，有147456个处理器，150万亿字节内存。比我们桌上的计算机大约强10万倍。这个小组在达曼德拉·莫德哈（Dharmendra Modha）领导下取得了一系列成功。在2006年，它能够模拟小白鼠大脑的40%。在2007年，它能够模拟老鼠大脑的100%。（老鼠的大脑含有5500万个神经元，比小白鼠大脑多得多。）

在2009年，这个小组又打破另一个世界纪录。他们成功地模拟了人的大脑皮层的1%，或大约等于猫的大脑皮层，含有16亿个神经元，9万亿个连接。然而，模拟的速度很慢，大约为人脑速度的1/600。（如果仅模拟10亿个神经元，模拟速度就快得多，大约是人脑速度的1/83。）

“这是一个智力的哈勃望远镜，一个大脑的线性加速器。”莫德哈在评论这个巨大的成就的时候这样说。因为大脑有1000亿个神经元，这些科学家已经看到了隧道端头的光线。他们感到完全模拟人的大脑已指日

可待了。“这不只是可能的，也是不可避免的，一定会实现。”莫德哈说。

然而，要模拟人的整个大脑，这里有个严重的问题，特别是功率和热。“黎明”计算机消耗100万瓦的功率，产生的热量是如此之多，需要6675吨的空调设备，每分钟要吹270万立方英尺（7.65万立方米）的冷空气。要模拟人的大脑，消耗的功率就不得不再上升1000倍。

这确实是一个不朽的任务。这个假想的超级计算机的功率消耗将是10亿瓦，相当于一个核电站的全部输出。用这个计算机消耗的能量可以照亮整个城市。要冷却它需要一条河流的全部河水和让河水流过计算机的渠道。这个计算机本身要占据城市的很多街区。

令人惊讶的是，与之相反，人的大脑只用20瓦。人的大脑产生的热量几乎注意不到，然而它的性能却轻而易举地超过了我们最好的超级计算机。此外，人的大脑是大自然母亲在银河系的这一部分创造的最复杂的物体。因为在我们的太阳系看不到有其他具备智能生命形式存在的迹象，这意味着我们不得不至少走出24万亿英里（38.6万亿公里），去到最近的星球，甚至要走得更远才有可能发现像我们的大脑一样复杂的物体。

我们也许能够在10年的时间内拆解和分析大脑，但是只有当我们拥有宏伟的像“曼哈顿”那样令政府破产的项目，倾注几十亿美元在里面才有可能。然而，由于当前的经济气候，这不大可能很快发生。像“人类基因组”那样让政府破产的计划，耗费将近30亿美元，是美国政府支持的，因为它有明显的健康和科学价值。然而，拆解分析大脑的利益则不是太紧迫的，因此需要更长的时间。更现实的是，我们在一小步一小步地接近这个目标，也许需要几十年才能实现这个历史壮举。

因此，计算机模拟大脑也许要到本世纪中期。即使这样，还要几十年分析从这个重大的项目得出的堆积如山的数据，并使这些数据与人脑相匹配。如果没有有效处理这些数据的方法，我们将会被淹没在数据的海洋里。



拆开大脑

但是，确定每个神经元在大脑中的精确位置的第二种方法怎样呢？

这个方法也是一个巨大的任务，需要花费几十年艰苦的研究。这个方法不利用“蓝色基因”这样的超级计算机，而是采用切片的方法，从一个果蝇开始，将它的大脑切成难以想象的薄片，每片不超过50纳米厚（大约150个原子）。一共产生几百万张薄片。然后用扫描电子显微镜拍摄每一张的照片，速度和分辨率达到每秒10亿像素。从电子显微镜得出的数据量是令人惊愕的，大约1000万亿字节的数据，一个果蝇大脑的数据就能占满一个储藏间。处理这些数据，繁琐地重新构造果蝇大脑每一个神经元的3D连接，要花大约5年时间。要得到更精确的果蝇大脑的图像就必须对更多的果蝇大脑切片。

霍华德·休斯（Howard Hughes）医学院的格里·鲁宾（Gerry Rubin）是这个领域的一位领导者，他认为得到一个详细的完整的果蝇大脑的图总共需要20年。“在解决这个问题之后，我们在理解人的大脑的路程上走了五分之一。”他断定说。鲁宾认识到他面临的任务的艰巨性。人的大脑的神经元是果蝇的100万倍。如果需要20年识别果蝇的每一个神经元，那么还需要几十年的时间才能充分识别人脑的神经结构。这个项目的花费也将是巨大的。

因此，在分析大脑逆向工程领域的工作人员感到灰心丧气。他们看到了这个目标令人急切地靠近，但是缺乏资金阻碍了他们的工作。然而，可以合理地假定，到了本世纪中期的某个时间，我们将既有计算机能力模拟人的大脑，也会有大脑神经结构的粗略的图。但是也许要到本世纪末我们才能充分理解人的思想，或者创造一个机器能够复制人脑的功能。

例如，即便找出了在蚂蚁内每个基因的精确位置，但这并不意味着知道蚁丘是怎样创造的。同样，科学家现在知道大约有25000个基因构成人的基因组，但这也不意味着知道人体怎样工作。“人类基因组”项目像一个没有定义的词典。在这个词典上人体的每一个基因都明确地拼写出来，但每一个是做什么用的，大部分还是一个秘密。每一个基因是一种蛋白质的密码，但是不知道大部分这些蛋白质在人体上怎样起作用。

回到1986年，科学家已经能够完全绘制微小的长寿线虫（*C. elegans*）神经系统中所有神经元的位置。最初这被宣布是一个突破，会让我们揭开大脑的秘密。但是知道了302个神经细胞和6000个化学突触，并没有得出这个小虫子是如何工作的任何新的理解，甚至在几十年后的今天还是这样。

同样，即使在人脑最终被分析清楚后，还需要几十年理解各个部分怎样工作，怎样密切配合。如果到本世纪末人的大脑最终被分析清楚和完全解码，那么我们在创造像人一样的机器人的路程上就跨了一大步。然后，用什么来防止我们被这些像人一样的机器人取而代之呢？

远期（2070—2100）



有意识的机器

在系列电影《终结者》中，五角大楼骄傲地揭开“天网”（Skynet）的内幕，这是一个铺天盖地的极其坚固的计算机网络，设计用来忠实地控制美国的核武器库。它执行它的任务，直到1995年的一天发生了预想不到的事情。天网变得有意识了。天网的人类操作者震惊地发现他们的创造物突然有灵感了，试图将它关闭。但为时已晚。天网为了自我保护，决定保护它们自己的唯一办法是发动一场毁灭性的核战争消灭人类。30亿人立刻死于原子能的火海中。随后，天网以一个军团一个军团的速度释放出杀人的机器人屠杀残存者。现代文明被粉碎了，剩下一小群悲惨的不适应环境的人和反抗者。

更糟糕的是，在电影《黑客帝国三部曲》（*Matrix Trilogy*）中，人类是这样的愚昧，他们甚至认识不到机器已经取而代之。人类进行他们日常的工作，把一切看成正常的，忘记了他们实际上是生活在豆荚之中。他们的世界是他们的机器人主人管理的虚拟现实模拟。人类的“存在”仅仅是装在这些生活在豆荚中的人类大脑中的软件程序，由一个大型的计算机进行操作。机器需要这些人的唯一理由是要利用他们作为电池。

当然，好莱坞把观众吓得屁滚尿流是为了赚钱。但它也提出了一个合理的科学问题：当机器人最终变得和人一样聪明时会发生什么？当机器人醒来，有了意识会怎样？科学家们精力旺盛地辩论这些问题：还没呢，但这些重大事件终究将会发生。

按照一些专家的说法，我们创造的机器人将沿着进化树逐渐攀升。今天它们像蟑螂一样聪明。在将来就会像老鼠、兔子、狗和猫、猴子一样聪明，然后和它们的对手人类一样聪明。需要几十年缓慢地攀登，但是他们相信机器在智力上超过我们只是时间问题。

人工智能研究人员对于什么时候会发生这种情况的意见是有分歧的。有人说20年内机器人将达到人类的智力，然后把我们抛到尘埃之中。在1993年，弗诺·文奇（Vernor Vinge）说：“在30年内我们将有技术方法创造超人的智力。在此后不久，人类的时代将结束……这个事件

不会在2005年前发生，也不会推迟到2030年之后。”

在另一方面，《哥德尔，埃舍尔，巴赫》（*Gödel*，*Escher*，*Bach*）的作者道格拉斯·霍夫斯塔特（Douglas Hofstadter）说：“如果在下一个100年到200年出现任何这种遥远的事情，我都会非常惊讶。”

麻省理工学院的马文·明斯基（Marvin Minsky）是在人工智能历史上的奠基者之一，当我与他谈话时，他很小心地告诉我，对于这个事件什么时候将会发生，他没有时间表。他相信这一天会来，但羞于成为预言者和预计精确的日期。（也许由于他是一位从一无所有帮助创建这个领域的重要的老人，也许是他看到了太多的预言最终都失败和受到强烈反对。）

这些猜想存在一个很大的问题是关于“意识”（*consciousness*）这个词汇没有一致的意见。哲学家和数学家就这个词汇争论了几个世纪，仍不能取得一致。17世纪的思想家、微积分发明人戈特弗里德·莱布尼茨（Gottfried Leibniz）曾经写道：“如果你能把大脑吹成磨盘那么大，并在里面到处走，你不会发现意识。”哲学家大卫·查默斯（David Chalmers）甚至将几乎20000篇有关这一题目的文章编目，意见都全不相同。

在科学上，没有一处是花了这么大的力气，却得到这样少的收获。

不幸的是，“意识”是一个玄妙的术语，它意味着对不同的人有不同的意义。遗憾的是，没有大家都能接受的这个术语的定义。

我个人认为，问题之一是不能明确定义意识，另一个问题是不能将它量化。

但是如果我冒昧地推测，我认为在理论上意识应至少由三个基本成分组成：

1. 感觉和认识环境
2. 自我意识
3. 设定目标，计划未来，也就是说模拟将来和制定策略

用这种方法，甚至简单的机器和昆虫都有某种形式的意识，其意识高低可以用数字1到10进行排队。这里有一个可以量化的意识的连续统一体。一个锤子不能感觉环境，因此它的意识等级为0。但是一个温度调节装置可以感觉环境。温度调节装置的作用是它能感觉环境温度，通过改变环境温度对环境产生影响，因此它意识等级为1。因此，具有反馈机制的机器有初步形式的意识。蠕虫也有这个能力。它们能够感觉食物、配偶、危险的存在，并根据这些信息行动，但别的做不了什么。昆虫能够检测的参数多于一个（如光线、声音、气味、压力等），应该有较高的排列等级，大约2或3。

这种感觉的最高形式应该是识别和理解周围环境中的物体的能力。人能够立刻估计环境的大小，并相应采取行动，因此在这个排列中理应排得最高。然而，这是机器人得分最低的地方。正如我们已经看到的，模式识别是人工智能发展的主要障碍。机器人能够比人更好地感觉环境，但是它们不能理解或认识它们看到的是什么。在意识的这个尺度上，机器人的得分最低，接近于昆虫，因为它们缺乏模式识别的能力。

下一个更高的意识级别是自我意识。如果放一个镜子靠近大多数雄性动物的旁边，它们将立刻暴跳如雷，甚至攻击这面镜子。镜子中的图像引起动物保卫它们的领地。很多动物没有它们是谁的意识。但是，猴子、大象、海豚和一些鸟类快速意识到镜子中的影像代表自己时，它们停止攻击镜子。在这个尺度上人类排得最高，因为在他们与其他动物、其他人和周围世界相处中，他们有高度发展的他们是谁的意识。此外，人还有自我意识，能默默地和自己说话，因此能够凭着思维对局势做出估计。

第三，可以根据动物为将来制定计划的能力排队。就我们所知，昆虫并不为将来设定详细的目标。大多数的昆虫是根据直觉和周围环境的直接线索，瞬间—瞬间地，对周围的直接境遇做出反应。

在这个意义上，捕食者比被捕食者更有意识。捕食者要事先计划、寻找隐藏的地方、计划埋伏、围捕、预计被捕食者的飞行路线。然而，被捕食者只是逃跑，因此在这个尺度上排得较低。

此外，灵长类在它们为即将发生的事情做计划时可以临时准备。如果它们看见一根香蕉，但伸手够不着，那么它们可以制定策略去抓这个香蕉，例如用一根棍子。因此，当灵长类面对特定目标时（抓食物），它们会对即将发生的事情制定计划去实现目标。

但是，总的说来，动物对遥远的过去和将来没有充分建立的意识。显然在动物的王国里没有明天。没有证据表明它们能够想到将来的日子。（动物会存储食物准备冬天，但这大部分是遗传的：它们外出寻找食物、对温度的突变的反应已由它们的基因编制了程序。）

然而，人有非常充分建立的对未来的意识，并且能连续制定计划。在我们的头脑中不断运行着对现实的模拟。事实上，我们预期的计划可以远远超出我们的生命跨度。实际上，我们能判断其他人的能力，预计形势的发展，制定正确的策略。领导阶层的一个主要任务是预计将来的局势、权衡可能的结果和相应设定具体的目标。

换句话说，这种形式的意识涉及预测将来，也就是说，产生多个模型去模拟将来的事件。这要求对常识和自然规律有非常周密的理解。它意味着你要不断地问自己“将会发生什么事情”。不管是计划抢银行，还是竞选总统，这种类型的计划意味着要能够在你的头脑里允许可能现实的多个模拟。

所有的指示都说明，在自然界中只有人掌握了这个艺术。

我们在分析受试者的心理状况时也看到这一点。心理学家通常比较成人的心理状况与他童年时的心理状况。然后会问一个问题：是什么品质造成他在婚姻、职业生涯、财富等方面的成功？除了社会经济因素之外，人们发现有一个特征有时突出在其他特征之上：不立刻表示满意。根据哥伦比亚大学沃尔特·米歇尔（Walter Mischel）和他人的长期研究，能够约束自己不立刻表示满意（例如吃一个给他们的果汁软糖）和能够拖延时间等待更好机会（得到两个果汁软糖，而不是一个）的孩子往往得分高，在将来的美国大学录取的标准化考试（SAT）、生活、爱情和职业生涯中容易成功。

但是能够不立即表示满意也与意识水平较高有关。这些孩子比较机灵，能够认识到将来的奖励会更大。因此能够预见我们行动将来的结果要求更高水平的意识。

因此，人工智能研究人员的目标应该是创造具有所有这三个特征的机器人。第一项很难达到，因为机器人能够感觉环境，但理解不了它的意义。自我意识比较容易取得。但计划将来要求有常识，能直觉地理解什么是可能的和达到特定目标的具体策略。

因此，我们看到常识是高级意识的前提。为了让机器人模拟现实和预测将来，它必须掌握有关周围世界的几百万条常识的规则。但是有了常识还不够。常识只是“游戏规则”，而不是策略和规划的规则。

根据这个尺度，我们可以将已经创造的各种机器人排队。

我们看到下棋机器“深蓝”排名最低。它能打败象棋世界冠军，但它不能做别的事情。它能够运行一个模拟的现实，但仅仅是针对下棋。它不能进行任何其他现实的模拟。世界上很多大型计算机都是这样的。它们模拟一个物体的现实时非常优秀，例如，模拟核爆炸、喷气式飞机周围气流的模式，或气候。这些计算机模拟现实比人还要好。但可怜的是，它们是一维的，因此在真实世界的生存中是没有用的。

今天，对于如何在机器人中复制所有这些过程，人工智能研究人员一无所措。大多数人举手投降，并且说巨大的计算机网络会有办法显示“突然出现的自然发生的现象”，就像有时本能地从混沌中产生秩序一样。当问到这些突然出现的自然发生的现象什么时候将产生意识时，大多数人哑口无言，两眼望天。

尽管我们不知道怎样创造有意识的机器人，但是我们能够想象当机器人比我们还先进时会是什么样子，以此为框架测量意识。

这些机器人在第三个特征上是胜过我们的：它们能够对将来进行复杂的模拟，远远超过我们，更全面、细致和深入。它们的模拟比我们更精确，因为它们更好地掌握了常识和自然的规律，因此能够更好地搜索

模式。它们将能够预测我们忽略或未觉察的问题。此外，它们能够设定它们的目标。如果它们的目标包括帮助人类，那么万事皆好。但是，如果有一天，我们阻碍了它们制定的目标，就会有糟糕的结果。

但是这又产生了下一个问题：在这种情况下会发生什么事情呢？



当机器人超过人类

在一种情况下，我们这些渺小的人被完全推到一边，成为进化的遗迹。进化的定律是：适者生存，不适者淘汰。也许人会被拖着脚走，最终被锁在动物园里让我们创造的机器人盯着我们看。也许这就是我们的命运：我们诞生出了这些超人机器人，而它们把我们看成是在它们的演化进程中的令人尴尬的原始祖先。也许这就是我们在历史上的作用，产生我们演化的后继者。按这种观点，我们应该给它们让路。

道格拉斯·霍夫斯塔特（Douglas Hofstadter）向我倾诉说，也许这就是事物的自然顺序，我们对待这些超智能的机器人应该就像对待我们自己的孩子一样，因为从某种意义上它们就是我们的孩子。他对我说，如果我们能够照料我们的孩子，我们为什么不能也照料智能的机器人呢？

汉斯·莫拉维克（Hans Moravec）预期被我们的机器人抛在脑后之后我们的感觉：“……如果我们注定要傻傻地盯住我们的超智能的后裔，听它们像对孩子一样描述它们的更加壮观的发现，过这样的生活也许会看上去毫无意义。”

当我们最终来到机器人的智力超过我们这一具有决定性的时代，不仅我们不再是地球上智力最高的生物，而且我们的创造物也许能够复制它们自己，并创造比它们还聪明的机器人。然后，这个自我复制机器人的大军将创造无穷无尽的下一代机器人，每一代都比前一代聪明。在理论上，因为机器人能够在很短的周期内创造更聪明的下一代机器人，最终这个过程将呈指数膨胀，直到最后，在它们贪得无厌的变得更加聪明的要求下，吞噬了这个行星的资源。

在一种情况下，这个贪婪的要求日益增加智力的欲望将最终掠夺整个行星的资源，使整个地球成为一个计算机。有些人预想这些超智能的机器人，会将它们发射到空间继续它们变得更聪明的要求，直至到达其他行星、恒星、星系，将它们转变成计算机。但是，因为其他行星、恒

星、星系离得极其遥远，也许计算机能够改变物理定律，这样它的贪婪的欲望可以跑得比光速还快，结果消耗整个的星系和银河系。有些人甚至相信也许它会消耗整个宇宙，结果宇宙变成有智能的。

这就是“奇异性”（Singularity）。这个词原来来自相对物理学世界，我个人的专业领域，在这个领域中奇异性代表重力为无限大的点，任何东西都不能从这里逃逸，如黑洞。因为光本身都不能逃逸，所以它是一个视野，超过这个视野我们什么也看不见。

人工智能奇异性的想法是在1958年，在两位数学家的对话中提到的。一位是斯坦尼斯拉夫·乌拉姆（Stanislaw Ulam），他在氢弹设计中取得关键突破。另一位是约翰·冯·诺伊曼（John von Neumann）。乌拉姆写道：“有一次交谈集中在技术的日益加速发展和人类生活模式的改变上，它让我们看到在人类历史上将面临日益逼近的某些重大的奇异性。正如我们知道的，超过这个奇异点人类的生活就不能继续。”这个思想受到歧视几十年。但是它却被科幻作家和数学家弗诺·文奇（Vernor Vinge）在他的小说和散文中夸大和普及了。

但是这并没有回答关键的问题：这个奇异性何时发生？在我们的生命跨度期间？也许下一个世纪？或决不会发生？我们记得2009年阿西罗马（Asilomar）会议的参加者将这个日期放在未来的20年至1000年之间的任何一个时间上。

有一个人成了这个奇异性的代言人，他是一个发明家和畅销书的作者雷·库兹威尔（Ray Kurzweil）。他嗜好根据技术的指数增长进行预测。库兹威尔曾经告诉我，当他在夜晚凝视遥远的星星时，他想也许有人能够看到在某个遥远的星系内发生奇异性的某些宇宙的证据。由于能够吞噬和重新安排整个星系，这个迅速扩大的奇异性应该留下一些痕迹。（他的诽谤者说他煽动对于奇异性的近乎宗教般的狂热。然而，他的支持者说他有离奇的能力正确地预测未来，他根据他的跟踪记录进行判断。）

库兹威尔开创了计算机革命，他创办了一个不同于别人的涉及模式识别的公司，如语言识别技术、眼力特征识别和电子键盘器具等。在1999年，他写了一本销售最好的书，《灵魂机器的时代，当计算机超过人的智力》（*The Age of Spiritual Machines*：*When Computers Exceed Human Intelligence*），它预测什么时候机器人将在智力上超过我们。在2005年，他写了《奇异性就在眼前》（*The Singularity Is Near*），并且详细阐述这些预测。计算机超过人的智力的决定性一天将会来临。

他预测，到2019年，1000美元的个人计算机将具有和人的大脑一样强的能力。此后不久，计算机将把我们甩在后面。到2029年，1000美元的计算机将比人的大脑强1000倍。到2045年，1000美元的计算机将比每个人合起来的智力强10亿倍。即便是一台小型的计算机也将超过整个人类的能力。

在2045年后，计算机变得如此先进，以致它们能够复制自身、智力不断地增加产生失控的奇异性。为了满足它们永无止境的贪婪及不断增加计算能力的欲望，它们将开始吞噬地球、小行星、行星、恒星，甚至影响宇宙本身的历史。

我有机会在波士顿城外的库兹威尔的办公室访问他。走过走廊，你看到他得到的奖品和荣誉，还有他设计的音乐器具，顶尖的音乐家如史蒂夫·旺德（Stevie Wonder）都使用过他的这些音乐器具。他向我解释在他的生命中有一个转折点。在他39岁的时候他突然被诊断患有2型糖尿病。突然，他面临严酷的现实，不能活着看到他的预测变为现实。他的身体在多年被忽视之后提前衰老了。他被这个诊断结果搞得心慌意乱，开始以他在计算机革命中的热情和能量动手处理个人健康问题。（今天，他一天吃100多片药，写关于长寿革命的书。他期待微观机器人将能够清洗和修理人的身体，这样就能永远活下去。他的哲学是他希望能活得长一些，能够看到医学突破，使我们的生命能无限延长。换句话说，他想活着并能够永远活下去。）

近来，他着手一个雄心勃勃的计划，开办奇异性大学，基地在海湾（Bay）地区美国宇航局的埃姆斯（Ames）实验室，目的是训练科学家干部，为即将来临的奇异性做好准备。

这些各种各样的题目有很多变化和组合。

库兹威尔相信："即将从地平线上出现的不是智能机器的入侵，而是我们要与这个技术融合……我们要把这些智能的设备放在我们的身体和大脑里，让我们活得更长更健康。"

任何像奇异性这样有争论的问题都一定会有人反对。莲花（Lotus）发展公司奠基人米奇·卡普尔（Mitch Kapor）说："奇异性是为智商为140的人设计的……有人认为我们正走向一个奇异点，万物都会变得难以想象的不同，在我看来，这完全是一种宗教的冲动。不管说得多么天花乱坠我也不会相信。"

道格拉斯·霍夫斯塔特（Douglas Hofstadter）说过："就好像你取了很多好的食物和一些狗屎，把它们搅和在一起，你就分不出哪是好，哪是坏了。它是垃圾和好想法的亲密混合，很难把两者分开，因为他们是聪明的人，不是傻瓜。"

没有人知道最后到底会是怎样。但我认为最可能的情况如下。



最可能的情况：友好的人工智能

首先，科学家将采取最简单的方法保证机器人不是危险的。至少，科学家可以放一个芯片在机器人的大脑里，如果机器人有了谋杀的想法，就自动将它关闭。用这种方法，所有的机器人都装备有破损安全机构，可以由人在任何时候打开，特别是当机器人呈现错误行为的时候。只要有一点迹象暗示机器人出了故障，任何声音命令立刻将它关闭。

或者也可以创造专门的机器人猎手，其责任是压制不正常的机器人。这些机器人猎手专门设计有超级速度、强度和协调能力，能够捕捉错误的机器人。这些机器人猎手将设计成能够了解任何机器人系统的弱点，在一定的情况下它们如何表现。人也可以训练这个技巧。在电影《银翼杀手》（*Blade Runner*）中，有一个受过专门训练的政府特工人员队伍，其中有一位由哈里森·福特（Harrison Ford）扮演，他们有压制任何机器人流氓所需要的技能。

因为需要很多个几十年的艰苦工作，机器人才能慢慢地沿着进化的阶梯上升，因此人类不会突然失去防卫，像牲口一样被关进动物园。意识，正如我们看到的，也是一级一级上升的，而不是一个突然演变的事件，需要很多个几十年的机器人才能沿着意识的阶梯攀升。毕竟，大自然母亲用了几百万年时间才建立了人类的意识。因此，当有一天因特网出其不意地“醒来”或机器人突然开始自行其事时，人类将不会失去防卫。

科幻作家艾萨克·阿西莫夫（Isaac Asimov）正是这样想的，他预想，每一个机器人在工厂加工时有三个定律防止它们失控。他设计出他的著名的机器人三定律（three laws of robotics），防止机器人伤害自己或人类。（三定律的基本意思是，按照顺序先后，机器人不能伤害人类、它们必须服从人类、它们必须保护自己。）

〔即便有了阿西莫夫的三定律，当这三个定律出现矛盾时还是有问题。例如，如果人们创造了一个慈善的机器人，如果有人做出自我毁灭的选择将危及人类时会发生什么呢？那么，一个友好的机器人可能会感到，它必须夺取政府的权力，防止人类伤害自己。这就是在电影《我，机器人》（*I，Robot*）中威尔·史密斯（Will Smith）面临的问题，当时，中央计算机决定“为了拯救人类，一些人必须牺牲，一些人必须放弃自由”。为了防止机器人为了拯救我们而奴役我们，有人提倡必须增加机器人零法则：机器人不能伤害或奴役人类。〕

但是很多科学家倾向于“友好的人工智能”（friendly AI），在设计机器人时从一开始就让它是良性的。因为我们是这些机器人的制造者，我们将设计它们，从一开始就让它只执行有用的和慈善的任务。

“友好的人工智能”这个术语是埃利泽·尤德科夫斯基（Eliezer Yudkowsky）发明的，他是“人工智能奇异性研究所”的奠基人。“友好的人工智能”与阿西莫夫的定律略有不同。阿西莫夫定律是强加给机器人的，也许违背它们的意志。（阿西莫夫定律是从外界强加的，实际上是选择灵巧设计的能防止不利情况发生的机器人。）相反，在“友好的人工智能”中，机器人是不受限制的，可以谋杀和伤害。没有什么规则强加人为的道德。而是，这些机器人从一开始就要求它帮助人类而不是毁灭他们。它们被选定是慈善的。

这样就产生了一个叫做“社会机器人”（social robotics）的新领域，设计机器人使它们有素质，能让它们融合到人类社会中。例如，汉森（Hanson）机器人技术公司的科学家说：“他们研究的一个任务是设计能够融入社会的机器人，能爱，能在扩大的人类家庭中有一席之地。”

但是所有这些方法都有一个问题，这就是到目前为止军事部门是人工智能系统最大的资金提供者，并且这些军用的机器人是专门设计用来搜索、追踪和杀人的。我们很容易想象将来的机器人士兵的使命就是要识别敌人，并且分毫不差地消灭他们。这样，我们不得不格外小心，保证这些机器人不要调过头来对准它的主人。例如，捕食者无人驾驶飞机是由遥控操作的，人要不断地指示它们的飞行。但是有一天，这些无人驾驶飞机也许是自治的，能够按它的意志选择和选定目标。这种自治飞机一出故障就会导致灾难性的后果。

然而在将来，越来越多的机器人资金将来自民用商业部门，特别是日本，在日本机器人是设计用来提供帮助的，而不是破坏。如果这个倾向继续，那么“友好的人工智能”就会变成现实。在这种情况下，消费部门和市场力量将最终支配机器人，因此投资“友好的人工智能”将有巨大的商业利益。



与机器人融合

除了友好的人工智能，还有另外的选择：与我们的创造物融合。不要只是等待机器人在智力和能力上超过我们，我们也应该增强自己，在

这个过程中成为超人。我相信，最可能的是，将来的进程将是这两个目标的结合，既建造友好的人工智能，同时也增强我们自己。

这个选择正是著名的麻省理工学院人工智能实验室前主任罗德尼·布鲁克斯（Rodney Brooks）所探索的。他是一个喜欢闹独立的人，放弃了珍爱的但迂腐的思想，把创新能力投入到这个领域。当他进入这个领域时，在大多数大学从上到下的方法占主导地位。但是这个领域停滞了。他提倡创造一大群像昆虫一样的机器人，通过与障碍物磕磕碰碰地自下而上地进行学习，从而打开了人们的眼界。他不想创造另一个哑巴的笨重的机器人，需要几个小时才能走过房间。相反，他要创造敏捷的"昆虫机器人"或"甲虫机器人"，几乎没有编程，但能很快通过反复试验学会走路和绕过障碍。他预想有一天他的机器人将探索太阳系，与沿路的物体碰碰撞撞。这是一个奇怪的想法，是他在他的论文"快捷、廉价和不受控制"（Fast，Cheap，and Out of Control）中提出的，但他的方法最终开辟了一条新的道路。他的想法的一个副产品是"火星漫游者"（Mars Rovers），这个漫游者正在这颗红色的行星表面跑来跑去。毫不奇怪，他也是艾罗伯特（iRobot）公司的主席，这个公司向全国的各个家庭销售真空清洁器。

他认为，一个问题是人工智能领域的工作者追随时尚、墨守成规，而不是用新的路子进行思索。例如，他回忆："当我还是一个孩子的时候，我有一本书把大脑描述为像电话开关一样的网络。更早的书把它描写为像一个水利系统或蒸汽发动机。然后，在20世纪60年代，它变成数字计算机。在20世纪80年代它成为庞大的平行数字计算机。也许，在某个地方还会出一本书，把大脑说成是万维网……"

例如，有些历史学家注意到，西格蒙德·弗洛伊德（Sigmund Freud）对头脑的分析是受了蒸汽机出现的影响，在19世纪中叶和晚期，铁路在整个欧洲的蔓延对知识分子的思想有深远的影响。在弗洛伊德的描述中，在头脑中有能量流动，它不停地与其他的流动竞争，很像发动机中的蒸汽管道。在超越自我和自我之间不停地相互作用，就像火车头里蒸汽管道之间不停地相互作用。给这些能量流动再加压可以产生神经症，就好像蒸汽动力，如果塞住的话，就可能爆炸。

马文·明斯基（Marvin Minsky）向我承认，另一个范例误导了这个领域几十年。因为很多人工智能研究人员原来是物理学家，因此有一种东西叫做"物理学愿望"（physics envy），即要求发现一个单一的、统一的理论奠定所有智能的基础。在物理学上，我们希望能追寻爱因斯坦将实际的宇宙缩减为几个统一的方程式，一个方程大约1英寸（2.54厘米）长，能够用单一的、一致的思想总结宇宙。明斯基相信，就是这个愿望导致人工智能的研究人员为人的意识寻找单一的、一致的理论。现在他相信没有这样的事情。进化偶然地把与人的意识有关的一些技术拼凑在一起。将大脑拆开，可以发现微型大脑的松散组合，每一个用来执行专门的任务。他将此称为"头脑的社会"（society of minds）：意识实际上是大自然在几百万年的时间内偶然产生的很多单个的运算规则和技

术的总和。

罗德尼·布鲁克斯（Rodney Brooks）也在寻找类似的范例，但有一个范例是从前从未充分探索过的。他很快认识到大自然母亲和进化已经解决了很多这样的问题。例如，一只蚊子，只有几十万个神经元，却能够比最好的军事机器人系统做得还好。与我们的无人驾驶飞机不同，蚊子的大脑比针头还小，却能够独立地绕过障碍，找到食物和配偶。为什么我们不向大自然和生物界学呢？如果你注视进化的阶梯，你知道昆虫和老鼠在它们的大脑中没有编制的逻辑规则。它们是通过反复的试验才进入世界和掌握生存艺术的。

现在，他又产生了另一个奇怪的想法，包含在他的论文“肌肉和机器结合”（The Merger of Flesh and Machines）中。他注意到，以前用于为工业和军事机器人设计硅元件的麻省理工学院的老的实验室正在腾空，给新一代由活组织，以及硅和钢做成的机器人让路。他预见，将生物系统和电子系统结合起来的全新的一代机器人，将会为机器人创造一个全新的结构。

他写道：“我预计到2100年，在我们的日常生活中将到处有非常智能的机器人。但是我们和机器人不是分开的，我们将是部分机器人，并且和机器人是连接的。”

他看到这个进步已经在眼前了。今天，我们的修复术正在进行革命，在人的身体里直接插入电极产生真实的听力、视力和其他功能的替代品。例如，人工耳蜗使听力学领域发生了革命，将听觉能力给回到聋人。这些人工耳蜗的工作是将电极硬件与生物“湿件”，也就是神经元连接。耳蜗植入有几个构件。一个构件是麦克风，放在耳朵外面。它接收声波，处理它们，将信号通过无线电传输到用手术植入到耳朵里面的构件中。这个植入的构件接收无线电信息，并将它转化为电流送到耳中的电极中。耳蜗识别这些电脉冲，并把它们送到大脑。这些植入的构件可以多至24个电极，并能处理每秒钟6个左右的频率，足以识别人的声音。世界上已经有15万人植入了耳蜗。

有几个小组在探索帮助盲人创建人工视力的方法，把一个照相机连接到人的大脑上。一个方法是把硅芯片直接插入人的视网膜，并把芯片贴到视网膜的神经元上。另一个方法是将这个芯片连接到与头骨背部连接的一个专门的电缆上，头骨背后的大脑是处理视力的。这些小组在历史上首次能够恢复盲人的一定程度的视力。患者可以在他的面前看到多达50个像素的亮光。最终，科学家将会把这个水平提高到几千个像素。

患者能够看到焰火、手的外形、光亮的物体和光线、汽车和人的存在与物体的边界。“在小同盟游戏中，我看到接球手、击球手和裁判在哪。”一位接受试验的人琳达·莫福德（Linda Morfoot）说。

到目前为止，有30位患者有人工视网膜，电极数量多至60个。但是

基地在南加利福尼亚大学的人工视网膜项目已经计划研制一个新的有200多个电极的新系统。1000个电极的系统已开始研究（但是如果太多的电极堆进芯片可能会引起视网膜过热）。在这个系统中，一个小型照相机安装在盲人的眼镜上，拍摄照片，并用无线方式发送到系在皮带上的微处理器上，它将信息送到直接放在视网膜上的芯片上。这个芯片将微小脉冲直接送到仍能激活的视网膜神经元中，这样就绕过了有缺陷的视网膜细胞。



星球大战机器人手

我们可以利用机械增强实现科幻中的奇迹，包括星球大战中机器人的手和超人的X射线视力。在影片《帝国反击战》（*Empire Strikes Back*）中，卢克·天行者（Luke Skywalker）的手被他的魔鬼父亲达斯·维达（Darth Vader）指挥的轻骑兵砍下。没有关系。在遥远星系里的科学家很快创造了一个新的机械手，有着可以触摸的手指。

这听起来好像科幻，然而它已经有了。意大利和瑞典的科学家取得了显著的进展，他们居然制造了一个能“摸”的机器人手。一个22岁叫做罗宾·埃肯斯塔姆（Robin Ekenstam）的接受试验者，为了去掉一个恶性肿瘤，他的右手被切除了，现在能够控制他的机械手指的运动和试探响应。医生将埃肯斯塔姆手臂里的神经连接到他的机械手中的芯片上，这样他就可以用大脑控制手指的运动。这个人工的“智能手”有4个马达和40个传感器。他的机械手指的运动随后传达到大脑，这样他就有了反馈。用这种方式，他能够控制也能“感觉”手的运动。由于反馈是人体运动最基本的特征，因此这就改变了用假肢治疗截肢病人的方式。

埃肯斯塔姆说：“太棒了，我有了很长时间以来所没有的感觉。现在感觉又回来了。如果我紧紧抓住一个东西，我就能感到它是在手指尖中，好奇怪，因为我已经没有手指了。”

一个研究员，他是斯科拉长老圣安娜的基督徒，叫做奇普里亚尼（Cipriani）。他说：“第一，大脑控制机械手没有任何肌肉收缩。第二，这个手能给患者反馈，因此他能感觉。就像真的手一样。”

这个发展是很有意义的，因为它意味着有一天人将可以毫不费力地控制机械的肢体，就好像它们有血有肉一样。患者将不需要烦琐地学习怎样移动金属的手臂和腿，他们对待这些机械的附属肢体就好像它们是

真的一样，可以通过电子反馈机理感觉肢体运动的每一个细微的差别。

这也证明了这样一个理论：大脑是可塑的，不是固定的，当它学习新的任务和适应新的境遇时会不停地自我重新连接。因此大脑的适应性很强，能够调节适应任何新的附属肢体或感觉器官。它们可以附加到大脑的不同位置，而大脑只是“学习”控制这些新的附件。如果是这样的话，那么大脑就可以看做一个模块装置，能够插入，然后控制不同的附属肢体和各种设备的传感器。如果我们的大脑是某种类型的神经网络，每次学习一个新的任务，不管是什么样的任务，它都将创建新的连接和新的神经路径的话，我们就可以期待出现这种类型的行为。

罗德尼·布鲁克斯（Rodney Brooks）写道：“过了下一个10年到20年，将会出现一个文化转变，我们将在我们身体里采用机器人技术、硅和钢，以改进我们能做的事情和对世界的认识。”布鲁克斯在分析布朗大学和杜克大学将大脑和计算机或机械臂直接连接起来的研究进展时，他断定说：“我们全都能够在我们的大脑中直接安装一个无线的因特网连接。”

在下一个阶段，他预见硅和生命细胞的融合不仅是为了医治身体的疾病，而且是要慢慢增强我们的能力。例如，如果今天的耳蜗和视网膜植入能够恢复听力和视力，明天也许就能给我们超人的能力。我们将能够听见只有狗才能听到的声音，或者看见紫外线、红外线和X射线。

也许还能够增加我们的智力。布鲁克斯引证了一个研究，在老鼠发育的关键时期在它的大脑上额外加一层神经细胞，这些老鼠的认识能力明显增加了。他预见在不远的将来，人脑的智力也许能用同样的方法改进。在随后一章，我们将看到生物学家已经在老鼠中提取出一个基因，媒体将它称为“聪明的老鼠基因”。增加这个基因，老鼠的记忆能力和学习能力大大增强。

布鲁克斯预想，到本世纪中叶，人体功能有可能得到难以想象的增强。“从现在算起50年，我们可以指望看到通过遗传修复人体得到根本改变。”再加上电子的增强，“人类的王国将以今天不可想象的方式扩大……我们将不再发现我们是受达尔文进化理论制约的。”他说。

当然，这些事情的实现肯定会需要很长的时间。在与我们的机器人创造物融合的路上，我们要走多远才不会有人反对和排斥这样做呢？



代理人或化身

与机器人融合，但又不改变人体的一个办法是创造代理人或化身。在使布鲁斯·威利斯（Bruce Willis）成为明星的电影《代理人》（*Surrogates*）中，在2017年科学家发现了一种控制机器人的方法，就好像人在机器人体内一样，这样我们就可以在完美的身体里生活。机器人对每一个命令做出响应，人也看到和感觉到机器人看到和感觉到的每一件东西。当我们的肉体腐朽和衰退时，我们可以控制有超人能力和完美外形的机器代理人的运动。这部影片变得很复杂，因为人们情愿放弃他们的腐烂身体，把它隐藏在一边，过美丽的、英俊的、超强的机器人那样的生活。实际上，整个人类情愿变成机器人，而不是面对现实。

在《阿凡达》（*Avatar*）中就更进了一步。我们不是过着完美机器人那样的生活，在2154年我们可以像外星人那样生活。在这部电影里，我们的身体是放在豆荚中，这样我们就能控制专门克隆的外星人的身体。在某种意义上，我们被赋予全新的身体，生活在新的行星上。用这种方法，我们可以和居住在其他行星上的当地外星人更好地会话。当一个工人决定放弃他的人性，成为一个外星人度过他的一生，不再是一个唯利是图的人，影片的情节就更复杂了。

这些代理人或化身今天不可能，在将来也许是可能的。

近来，阿西莫（ASIMO）的程序编制有了一个新的想法：遥感。在京都大学，已经开始训练人利用大脑传感器控制机器人的机械运动。例如，戴上脑电图（EEG）头盔，学生能够完全通过意念移动阿西莫的手臂和头的运动。到目前为止，可以控制手臂和头的4个截然不同的运动。这就可能为另一个人工智能领域打开大门：用意念控制机器人。

尽管这只是粗略证明了意念可以控制物质，然而在未来的几十年应该有可能更多地控制机器人的运动，也能够得到反馈，因此我们能够用我们新的机器人的手去“摸”。护目镜或隐形透镜能够让我们看到机器人在看什么，这样我们就也许可能完全控制机器人身体的运动。

这也许也可以用来帮助减轻日本的外来移民问题。工人可以位于不同的国家，然后在几千英里以外用戴在大脑上的传感器控制机器人。这样，不仅因特网能够执行白领工人的想法，也能执行蓝领工人的想法，把它们转变为身体的运动。这也许意味着机器人将成为任何健康费用昂贵和工人短缺国家的一个整体部分。

通过遥感控制机器人也可以应用在别的地方。在任何危险环境中（例如，水下、高压线附近、火灾），用人的意念控制的机器人可以用在营救使命中。或者海下机器人也许能直接与人连接，这样人可以只通过意念控制很多会游泳的机器人。由于这些代理人有超级能力，因此能够追击罪犯（除非罪犯也有超级能力的代理人）。我们会有与机器人融合而根本不改变我们身体的所有优点。

在空间探测中，当我们不得不管理永久的月球基地时，这种安排可以证明是有用的。我们的代理人可以执行维护月球基地的所有危险任务，而宇航员安全地返回地球。宇航员在探索危险的异国地貌时将有机器人的超级强度和超级能力。（然而，如果宇航员在地球上控制火星上的代理人这就不可能，因为无线电信号从地球传到火星要多达40分钟。但是如果宇航员安全地坐在火星的基地上，而代理人走出去在火星表面执行危险的任务，就可以工作。）



与机器人融合要走多远？

机器人倡导者汉斯·莫拉维克（Hans Moravec）又向前迈进了几步，他想象一个极端的情形：我们变成了我们创造的机器人本身。他向我解释：我们与我们创造的机器人融合的一种方法，进行大脑手术，用机器人内的晶体管代替我们大脑的每一个神经元。手术开始时，我们躺在一个没有大脑的机器人旁边。一个机器人外科医生从我们的大脑中取出每一串灰色的物质，一个晶体管一个晶体管地复制它，将神经元连接到晶体管上，把晶体管放进空的机器人头颅中。当每一串神经元都复制在机器人中后，人就被丢弃。在这个精细的手术进行时，我们是完全有知觉的。我们的大脑的一部分是在我们旧的身体里，但另一部分现在是由晶体管做的，在我们新的机器人身体里。在手术完成后，我们的大脑完全转移到机器人的身体里。我们不仅有了机器人的身体，我们也有了机器人的好处：有一个外表完美的超人的身体，而且永远不死。这在21世纪是不可能的，但是在22世纪将会成为一个选择。

最终的情况将会是，我们完全抛弃了我们笨重的身体，最终进化为将我们的个性编码在内的纯粹的软件程序。我们将我们完整的个性“下载”到计算机中。如果某人按一下按钮输入你的名字，这个计算机的表现就好像你在它的内存中，因为它在它的电路中编码了你所有的个性。我们变成不朽的，但是被囚禁在计算机内度过我们的时光，在某个巨大的计算机空间和虚拟现实中与其他“人”（也就是其他的软件程序）互动。

我们的身体存在被抛弃了，取而代之的是在巨大的计算机中的电子流动。在这个图片里，我们的最终命运是在这个巨大的计算机程序中缠绕起来的代码线，还有在虚拟天堂中活动的所有实际身体的外观感觉。我们将和其他的计算机代码线分享深刻的思想，生活在这个伟大的幻想中。我们有了伟大的、英雄般的壮志征服新的世界，却忘了我们只是在计算机内跳动的电子。而且，是在某人敲了键盘之后。

但是把这种情景推离得如此遥远就产生了一个问题，这就是“洞穴人原理”。正如我们早先提到的，我们大脑的结构是原始群居在一起的猎人，他们是10万年前在非洲出现的。我们内心深处的要求、我们的胃口、我们的愿望都是非洲大草原铸造的，是我们在逃避食肉动物、打猎、在森林中寻找食物、寻找配偶、在篝火旁娱乐过程中养成的。

我们一个主要的埋藏在我们思想深处的想法是要看上去好看，特别是对异性和同行。我们可以任意使用收入的绝大部分，在娱乐之后，主要用于我们的外貌。这就是为什么整形外科、美容产品、高级衣服，还有学习新的舞步、塑身健美、买最新的音乐呈爆炸式的增长。如果你把这些都加在一起，它将成为消费者花费的巨大部分，也构成美国经济的一大部分。

这意味着即使我们有能力创造一个近乎于不朽的完美的身体，如果我们看上去像一个笨重的机器人，各种植入的电极伸出我们的头，我们可能会抵制要有一个机器人身体的要求。没有人愿意看上去像科幻影片中的逃亡者。如果我们想有增强的身体，它们必须使我们更能吸引异性，增强我们在同行中的声誉，否则我们就会拒绝它。十几岁的孩子想要增强，但增强后看上去不酷，他还想增强吗？

有些科幻作家对以下想法津津乐道：我们将全都变得与我们身体脱离，以纯粹智能的不朽的生命生活在每个计算机的内部，凝视最深刻的思想。但是谁愿意这样生活呢？也许我们的后代不想解答描述黑洞的微分方程。在将来，人们也许想花更多的时间听摇滚乐，而不是生活在计算机里去计算亚原子粒子的运动。

加州大学洛杉矶分校的格雷格·斯托克（Greg Stock）走得更远，他发现将大脑和超级计算机直接连接起来有不少优点，他说：“当我试图思考在我的大脑和超级计算机之间有一条工作连线我能得到什么益处时，我困惑的是，是否我应该坚持两个原则：这个益处必须是某些其他的非侵入程序不能取得的，并且这个益处一定要值得大脑手术所受的痛苦。”

因此，尽管将来可能有很多选择，我个人相信最可能的途径是我们将建造慈善的、友好的机器人，在一定程度上增强我们自己的能力，但要遵循“洞穴人原理”。我们将欢迎这样一种想法，短暂地通过代理人过一过超级机器人的生活，但反对永久生活在计算机内，把我们的身体变成无知觉的想法。



通往奇异性的障碍

没有人知道什么时候机器人会变得和人一样聪明。但我个人认为这个日期将接近这个世纪末，理由有几点。

首先，计算机技术的令人眼花缭乱的进展是由于摩尔定律。这些进展将开始减慢，也许在2020—2025年左右甚至停止，因此不清楚在这个时间之后我们是不是还能可靠地估计计算机的速度。（详情见第4章“后硅时代”）。在这本书中，我假定计算机能力将继续增长，但速度要减慢。

第二，即便计算机能以每秒10^{16}次的惊人速度计算，这并不一定意味着它比我们聪明。例如，IBM的下棋机“深蓝”可以一秒钟分析2亿个位置，打败世界冠军。但是，“深蓝”以它的速度和计算能力不能做任何别的事情。我们知道，智力决不是仅仅计算棋的位置。

例如，孤独症患者专家具有惊人的记忆和计算技巧。但他们不能系鞋带、找工作，或与社会交往。已故的金·皮克（Kim Peek）是如此的非凡，以致电影《雨人》（*Rain Man*）是基于他的非凡的生活编写的。他能记住12000本书中的每一个字，能够进行只有计算机才可检查的计算。然而，他的智商只有73，会话有困难，需要不断地被帮助才能生活。没有他父亲的帮助，他很大程度上是无用的。换句话说，将来的超快的计算速度像孤独症患者专家，不能靠他自己生活在现实世界上。

即便计算机达到了大脑的计算速度，它们仍将缺乏必要的软件和计算程序去做日常的工作。达到大脑的计算速度仅仅是一个初步的开始。

第三，即便智能机器人是可能的，还不清楚一个机器人是否能复制比它原来更聪明的机器人。机器人自我复制的数学理论是数学家约翰·冯·诺伊曼（John von Neumann）首先建立的，他发明了比赛理论，帮助发展了计算机。他提出了在一个机器能够复制自身之前，确定最少数量的假定的问题。然而，他从未讨论过一个机器人是否能复制比它自己更聪明的机器人的问题。事实上，“聪明”的定义本身就是有疑问的，因为没有普遍可以接受的“聪明”的定义。

可以肯定的是，一个机器人能够创造一个它自己的复制品，有更多的内存和处理能力，只要更新和增加更多的芯片。但这意味着这个复制品更聪明吗？或者只是更快呢？例如，一个加法器比人要快几百万倍，

有更多的内存和处理能力，但它一定不是更聪明的。因此智能不只是内存和速度。

第四，尽管硬件可以呈指数进展，软件也许就不是这样。硬件的能力增长是靠在一块晶片上蚀刻越来越小的晶体管，而软件则完全不同。它要求一个人坐下来，用纸和笔写代码。这就是瓶颈：人。

软件像人类所有的创造活动一样，是在摸索中前进的，需要敏锐的洞察力和长期艰苦的工作。和与时俱增的只是在晶片上蚀刻更多晶体管不同，软件则依赖于不可预知的人类创造力和突发奇想。因此，有关计算机能力稳步的、指数生长的所有预测不得不有所保留。一个链条的强度由它的最薄弱的环节确定，这个最薄弱的环节就是软件和人所进行的编程。

工程进展通常是呈指数增长的，特别是取得更大效率这样简单的事情上，如在硅晶片蚀刻越来越多的晶体管。但是说到基础研究，它需要运气、技巧和未预料到的基因突然发作，这个过程更像“突破”（punctuated equilibrium），很长一段时间什么也没发生，然后意外的突破改变了一切。如果我们看基本研究的历史，从牛顿到爱因斯坦，再到今天，我们看到“突破”更精确地描述了前进的道路。

第五，正如我们在大脑逆向分析工程研究中看到的，这个项目的惊人造价和巨大的规模，很可能将这个项目延期到本世纪中后期。要让所有这些数据得出意义还需要几十年，将会将大脑逆向分析工程推到本世纪晚期。

第六，当机器突然变成有意识时，大概不会发生“大爆炸”（big bang）。按照前面说的，如果我们定义意识包括对未来进行模拟和为未来作好计划的能力，那么就有一个意识的阶梯。机器人将慢慢沿着阶梯向上攀升，给我们很多时间做好准备。我相信机器人成为有意识的将会在本世纪末发生，因此我们有充分的时间讨论各种可以选择的预防方法。此外，机器人的意识可能有它自己的特性。因此将可能首先建立一种形式的“硅意识”（silicon consciousness），而不是纯粹的人的意识。

但是这里又产生了另一个问题。尽管有机械的方法增强我们的身体，但是也还有生物的方法。实际上进化的整个进程是选择更好的基因，因此为什么不走几百万年进化的捷径并控制我们遗传的命运呢？

3．医学的未来　完善和超越

> 如果我们知道怎样添加基因创造更好的人类，为什么我们不应该这样做呢，还没有人真的有勇气这样说。
>
> ——诺贝尔奖得主，詹姆斯·沃森（James Watson）

> 我不是真的相信到本世纪末我们的身体还会有任何秘密没有发现。因此，我们能够设法思考的任何事情也许都有实现的可能性。
>
> ——诺贝尔奖得主，戴维·巴尔的摩（David Baltimore）

> 我不认为这个时间表是完全正确的，但它已经不远了。不幸的是，我恐怕是最后一代将死去的人。
>
> ——杰拉尔德·萨斯曼（Gerald Sussman）

神话中的神具有最终的权力：掌握生与死，能够医治疾病和延长生命。我们向上帝祈祷的最主要内容是让我们从疾病中解脱。

在希腊和罗马神话中有一个希腊黎明女神厄俄斯（Eos）的故事。有一天，她深深地爱上一个漂亮的凡人提托诺斯（Tithonus）。她有一个完美的身体和长生不老，但是提托诺斯最终会变老、衰退和死亡。她决定挽救她爱人的这种悲惨的命运，恳求众神之父宙斯让提托诺斯不死，让他们能一起永度来生。宙斯可怜这一对恋人，满足了她的愿望。

但是，厄俄斯在匆忙之中忘了恳求让他永远年轻。这样，提托诺斯得到长生，但是他的身体衰老了。由于死不了，他变得越来越衰老和腐朽，生活在永久的痛苦和折磨中。这就是21世纪科学面临的挑战。科学家正在阅读生命这本书，它包括了人类完整的基因组，它让我们在理解生命的衰老过程中取得了不可思议的进展。但生命延长，却没有健康和活力也会是一种永久的惩罚，就像提托诺斯经受的悲剧那样。

到本世纪末，我们也将会有很多这种神秘的掌握生和死的能力。这种能力不只限于医疗疾病，也将用来增强身体，甚至创造新的生命形式。然而，不需要通过祈祷和咒语，而是通过生物技术的奇迹。

罗伯特·兰札（Robert　Lanza）是一位揭开生命之谜的科学家，他是一个忙碌的人。他是新一代的生物学家，年轻、有活力、充满了新鲜的思想，在很短的时间内取得了众多的突破。兰札跨越在生物技术革命的顶峰。像一个在糖果店里的孩子，他喜欢钻研未曾开垦的领地，在各种热门的关键问题上做出突破。

在一代人或两代人之前，前进的步伐却完全不同。你会发现生物学

家从容不迫地考察模糊的蛆虫和小虫子，耐心地研究它们的详细解剖，苦苦思索给它们什么拉丁文学名。

但兰札不这样做。

有一天，我在无线电演播室遇见他，立刻被他的年轻和无穷的活力所感染。他像通常一样忙着做各种实验。他告诉我，他投入这个快速发展的领域是以不同寻常的方式。他来自波士顿南部一个普通的工人家庭，那里很少有人去学院。但是他在高中的时候，他听到一个有关发现DNA的惊人的新闻。他被吸引住了。他决定研究一个科学项目：在他的房间里克隆鸡。他的迷惑不解的父母不知道他要做什么，但他们给了他祝福。

决定了要开始这一项目之后，他去哈佛大学寻求建议。不认识任何人，他问一个他以为是看门的人要他指路。这个看门人感到很惊奇，把他带到他的办公室。兰札后来知道这个看门人实际是这个实验室的高级研究员。被这个性急的年轻的高中学生所感动，他把兰札介绍给这里的其他科学家，包括很多诺贝尔量级的研究员，这些研究员改变了他的生活。兰札把他自己与电影《心灵捕手》（*Good Will Hunting*）里的人物马特·达蒙（Matt Damon）相比。在这部影片中，一个衣衫褴褛的扫马路的工人阶级的孩子让麻省理工学院的教授惊讶，他的数学天才让他们眼花缭乱。（欲了解罗伯特·兰札，见他著的《生物中心主义》，中文版本社已出版）

今天，兰札是“高级细胞技术公司”（Advanced Cell Technology）的首席科学官员，几百篇文章和发明都出自于他。在2003年，他成了报纸的头条新闻，那时圣迭戈（San Diego）动物园要他从25年前死亡的白臀野牛的身体克隆这个濒临灭亡的野牛品种。兰札从这个尸体上成功地提取了可用的细胞，把它们送到犹他州的农场。在这里，已受精的细胞植入到母牛中。10个月后他得到消息，他最新的创作物刚刚诞生了。在另一天，他也许工作在“器官工程”（tissue engineering）上，这个研究最终会产生人体商店，你在这里可以买到从我们自己身体细胞培育的新的器官，代替有了疾病和用坏了的器官。再过几天，他又可能工作在克隆人的胚胎细胞上。他是克隆世界上第一个人类胚胎的具有历史意义的团队的成员，这项工作的目的是产生胚胎干细胞。



医学的三个阶段

兰札在发现的浪潮中乘风破浪，他揭开了藏在DNA里面的秘密。在历史上，医学经历了至少三个阶段。第一个阶段持续了几万年，医学以迷信、巫师和道听途说为主。大多数婴儿在出生时死亡，平均寿命预期在18岁到20岁之间徘徊。这个时期发现了一些有用的药草和化学药品，如阿司匹林，但是大多数没有系统的研究发现新的治疗方法。不幸的是，任何实际起作用的药物被密切地看守，成为秘方。“医生”靠着给有钱人治病赚钱，他们关心的是保住位置和保守秘密。

在这个时期，梅奥（Mayo）诊所的奠基人之一保存着一本巡回看病的私人日记。他在自己的日记里坦率地写到，在他的背包里实际上只有两种能起作用的成分：钢锯和吗啡。钢锯用来切断有病的肢体，吗啡用来减轻截肢的疼痛。这两样东西总能工作。在他的背包里还有别的东西是蛇油和假货，他悲哀地遗憾地说。

医学的第二阶段开始于19世纪，出现了细菌理论和更好的卫生。在美国，人的寿命上升到49岁。当几万士兵在第一次世界大战的欧洲战场濒临死亡时，急需要医生进行真实的试验，得到可重复的结果，然后发表在医学杂志上。欧洲的国王们，恐惧他们最好的和最聪明伶俐的士兵被屠杀，要求得到真实的结果，而不是欺骗。医生们不再是热衷取悦有钱的资助人，而是在同行评论的杂志上发表文章，为合法性和名誉而战。这让这一阶段在抗生素和疫苗方面取得了进展，将人的寿命增加到70岁和更长。

医学的第三个阶段是分子医学。我们看到物理和医学融合，将医药缩减到原子、分子和基因。这个历史性的转变开始于20世纪40年代，奥地利的一位物理学家，量子理论的奠基人之一埃尔温·薛定谔（Erwin Schrodinger）写了一本有影响的书，叫做《什么是生命》（*What Is Life*）。他反对有某种神秘的幽灵或生命力的说法，即激活生物的生命力。他推测所有的生命是基于某种类型的密码，而且这些密码是编写在分子上。他推测，找到这个分子，我们就能揭开生命的秘密。物理学家弗朗西斯·克里克（Francis Crick）受薛定谔这本书的鼓舞，和遗传学家詹姆斯·沃森（James Watson）结成小组，证明DNA是这个神话般的分子。在1953年，作为一个所有时代最重要的发现，沃森和克里克解开了DNA的结构，一个双螺旋结构。一条DNA链在拆开后伸展大约6英尺（1.83米）长。在它的上面包含了30亿个核苷酸的序列，叫做A、T、C、G（腺嘌呤、胸腺嘧啶、胞嘧啶、鸟嘌呤），承载着密码。读懂沿着DNA分子排列的这些核酸的精确次序，我们就能读懂生命这本书。

分子遗传学的快速进展最终导致了“人类基因组项目”（Human Genome Project）的诞生，在医学历史上一个真正的里程碑。一个庞大的、轰动一时的、对人体所有基因排序的项目，花费大约30亿美元，涉及全世界几百位科学家合作的工作。当它在2003年最后完成时，它宣布了一个科学的新时代。最终，每一个人都会有他或她个人的基因组刻在一张光盘上。它将大约是你的25000个基因的总目录，它将是你的“业主手册”。

诺贝尔奖得主戴维·巴尔的摩（David　Baltimore）总结说：“生物学最终将是一门信息科学。”



基因药物

驱动医学出现这种非凡的爆炸式发展的动力，一部分是量子理论和计算机革命。量子理论给了我们在每个蛋白质和DNA分子中原子如何排列的详细模型。我们知道了原子，知道了原子如何从一开始构成了生命的分子。基因排序原来是一个漫长的、繁琐的和昂贵的过程，现在可以自动用机器人完成。原来需要花几百万美元才能对一个人的身体进行基因排序。由于太昂贵了，太花时间了，因此只有极小一部分人（包括完善这项技术的科学家）才能读到他们的基因。但是，再过一些年，这项新颖的技术就可以出现在普通人面前。

（我清楚地记得在20世纪90年代末，在德国法兰克福的一次会议上我的发言。我预计到2020年，得到个人的基因组会成为可能，每个人可以有一个光盘或一个芯片，在上面记有他或她的基因。但是一位参会者变得十分义愤。他站起来说这个梦想是不可能的。基因的数量太多了，要花多少钱才能让普通人也能得到个人的基因组呢？人类基因组花了30亿美元，因此对一个人的基因排序花费也不会少多少。后来我和他讨论这个问题，他渐渐清楚了问题在那儿。他是线性地思考问题。但是摩尔定律会驱使造价降低，使得用机器人、计算机、自动机排序变得可能。他未能理解摩尔定律对生物学的深远影响。回顾那一次的事件，我现在认识到，如果在那个预计中有什么错误，那就是预计的能够提供个人基因组的时间过长了。）

例如，斯坦福的工程师斯蒂芬·R.夸克（Stephen R.Quake）完善了基因排序的最新发展。他现在把造价降低到5万美元，并且预计再过几年会降到1000美元。科学家早就推测，当人类基因排序的价格降到1000美元时，就会打开民众基因排序的闸门，这样一大部分人类可以从这项技术获益。在几十年内，对人体所有基因排序的价格将低于100美元，不比标准的血液检查贵。

（这个最新突破的关键是要走捷径。夸克比较了一个人的DNA和另一个人已经完成测序的DNA次序。他把这个人的基因组分成含有32位信息的DNA单元。然后编制计算机程序，将这些32位的片段和其他人的完全测序的基因组比较。因为任何两个人的DNA几乎是完全相同的，平均

差别只有0.1%，这意味着计算机可以迅速地在这些32位的片段中找到一个相同的片段。）

夸克成为世界上第八位有他的基因组被完全排序的人。他个人对这个课题也非常感兴趣，因为他扫描他个人的基因组，想找出心脏病的证据。不幸的是，他的基因组说明他有一个先天性的基因与心脏病有关。“在你看自己的基因组时，你必须有宽宏的肚量。”他遗憾地说。

我知道这种奇异的感觉。我有我自己的部分扫描的基因组，放在一张光盘上，用于我主持的BBC电视台和发现专题栏目。一位医生从我的手臂上抽了一些血，送到范德比尔特（Vanderbilt）大学的实验室。然后，两周之后，一张光盘邮寄回来了，列有几千个我的基因。手里拿着这张盘，知道里面含有我身体的部分蓝图让我有一种好笑的感觉。在原则上，这张盘可以用来创造一个我自己的复制品。

但是它也伤害了我的好奇心，因为我身体的秘密都包含在那张光盘上了。例如，我可以看见是不是我有特别的基因使我容易得阿尔茨海默氏病（alzheimer's，老年痴呆症）。我之所以关心，是因为我的母亲是死于这种病的。（幸运的是，我没有这个基因。）

此外，我的4个基因和全世界已经分析了基因的几千人的基因组完全相同。然后，将和我有完全相同4个基因的人的位置放在地图上。分析地图上的这些小点，我可以看到一条长的这些小点的踪迹，起源于中国西藏附近，然后穿过中国大陆到日本。令人惊异的是，这些小点的踪迹追踪了几千年前我母亲祖先的移民模式。我的祖先没有留下他们古时迁移的书面记录，但是表明他们旅行路线的图却蚀刻在了我的血液和DNA中。（你也可以追踪你父亲的祖先。线粒体的基因毫无改变地从母亲传给女儿，而Y染色体从父亲传给儿子。因此，分析这些基因，你可以追踪你母亲或你父亲家族的祖先。）

我想象在不远的将来，很多人会有像我一样的奇怪的感觉，手里拿着身体的蓝图，读着自己的秘密，包括潜伏在基因组里的危险的疾病和祖先在古代时的迁移模式。

但是对于科学家来说，它打开了一个全新的科学分支，叫做生物信息学（bioinformatics），或者是利用计算机快速扫描和分析成千个生物体的基因组。例如，将受某一种疾病折磨的几百个个人的基因组输到计算机中，也许能够计算出受损伤的DNA的精确位置。事实上，一些世界上最强大的计算机是用在生物信息学上的，分析在植物和动物身上发现的几百万个基因，以找出某个关键的基因。

这还可以像《犯罪现场调查》（*CSI*）这样甚至革命性的侦探电视节目。用一小点DNA（在头发、口水或血迹中发现的），就可以不只是确定一个人头发的颜色、眼睛的颜色、种族、身高、病史，也许还可以确定这个人的脸。今天，警察艺术家可以仅仅用头骨就可以近似地铸造

受害者脸的雕塑。在将来，计算机只需要一个人的一些头皮屑或血滴就能重新构造这个人的面部特征。（双胞胎的脸非常相似，这意味着尽管存在环境因素，只是遗传学就能确定一个人面部的大部分特征。）



看医生

正如在前面章节提到的，去医生办公室将发生根本性的转变。当你和你墙幕上的医生讲话时，你大概是在和一个软件程序讲话。你的浴室里所有的传感器比现代的医院还多，这些传感器默默地检测癌细胞，在肿瘤形成很多年之前检测出癌细胞。例如，大约50%的所有常见的恶性肿瘤涉及基因p53（人体抑癌基因）的变化，利用这些传感器可以很容易检测出来。

如果发现了癌细胞，就把纳米粒子直接注射到血液中，它将像智能炸弹一样把抗癌药物直接投送到癌细胞。我们今天把现今的化学疗法看成是上一个世纪用水蛭吸血一样。（我们将在下一章更详细讨论纳米技术、DNA芯片、纳米粒子和纳米机器人。）

如果你墙幕上的“医生”不能医治你的器官的疾病或损伤，你只需再长出另一个。仅在美国就有91000个人在等待器官移植。每天有18个人因为等不到要移植的器官而死亡。

如果你的虚拟医生发现什么地方出了毛病，如有了疾病的器官，那么他可以订购一个直接用你的细胞长成的新器官。（图6）



图6　在将来，我们将有像《星际迷航》中的那种手持式三录仪，它几乎可以诊断任何疾病，手提磁共振成像检测仪和DNA芯片将使这一切变得可能。

“器官工程”（tissue　engineering）是医学中最热门的领域之一，有可能产生“人体商店”。到现在为止，科学家能在实验室中用你自己的细胞培育皮肤、血液、血管、心脏瓣膜、软骨、骨头、鼻子和耳朵。第一个重要的器官，膀胱，是在2007年培育的，第一个气管是在2009年培育的。到现在为止，已经培育的器官是相当简单的，只涉及几种类型的组织和少数结构。5年之内，第一个肝脏和胰腺也许能培育出来，对公众的健康将有巨大的意义。诺贝尔奖得主沃尔特·吉尔伯特（Walter Gilbert）告诉我，他预见，只要几十年，人体的几乎所有器官都能用你自己的细胞培育出来。

利用器官工程培养新器官的方法是首先从人的身体上取出一些细胞。这些细胞注射到一个看上去像海绵的，形状和需要的器官一样的塑料模子中。这个塑料模子是用能生物降解的聚乙二醇酸做的。注入的细胞用某种生长素处理以促进细胞生长，使它长成模子的形状。最终，模子拆掉，留下完整的器官。

我有机会访问了北卡罗来纳州维克森林（Wake　Forest）大学的安东尼·阿塔拉（Anthony　Atala）实验室，亲眼见证了这个不可思议的技术。当我穿过这个实验室时，我看到装有活的人体器官的瓶子。我可以看到血管和膀胱。我看到心脏瓣膜在不断打开和关闭，因为泵送的液体在其中流过。当我看到瓶子中所有这些活的人体组织时，我几乎感到我正走进怪人弗兰肯斯坦（Frankenstein）的医生的实验室，但这里有几个重大的差别。回到19世纪，医生不知道人体的排斥机理。此外，医生也不知道怎样阻止手术后不可避免的对任何其他器官的感染。因此，阿

塔拉不是创造了一个怪兽，而是打开了全新的挽救生命的医学技术，也许有一天将改变医学的面貌。

这个实验室的一个将来目标是培育人的肝脏，也许在5年之内。肝脏不是十分复杂，仅由几种类型的组织组成。实验室培养的肝脏能够挽救成千上万人的生命，特别是迫切需要肝脏移植的人。它也能挽救酒鬼的生命，使他们免受肝硬化之苦。（不幸的是，这也可能鼓励这些人保持坏习惯，因为他们知道可以得到新的器官代替损坏的器官。）

如果人体的器官，如气管和膀胱可以培育，那么是什么阻碍科学家培育人体的每一个器官呢？一个基本的问题是怎样培育细小的为细胞提供血液的毛细血管。身体的每一个细胞都必须有血液供给。此外，如何培育复杂的结构也是一个问题。净化有毒血液的肾脏是由几百万个小过滤器组成的，因此要培育这些过滤器是非常困难的。

但是最难培育的器官是人的大脑。尽管创造或培育一个人的大脑在近几十年似乎是不可能的，但是有可能用代替的方法，将年轻的细胞直接注射到大脑中，将它们与大脑的神经网络结合起来。这种注射新的大脑细胞是随机的，因此患者不得不重新学习很多基本的功能。但是因为大脑是可“塑”的，也就是说在学习一个新任务之后它能不断地重新连接，因此有可能集成这些新的神经元，使它们正确工作。



干细胞

更进一步的是采用干细胞技术（stem cell technology）。到目前为止，人体器官的培育使用的不是干细胞，而是细胞经特别处理后在模子里增生扩散。在不远的将来应该可能直接使用干细胞。

干细胞是“所有细胞之母”，它有能力改变成为身体的各种类型的细胞。我们身体上的每一个细胞都有创建我们整个身体的完整的遗传密码。但是当我们的细胞成熟后，它们就专门化了，很多的基因都不活动了。例如，尽管皮肤细胞有变成血液的基因，当胚胎细胞变成为成人的皮肤细胞时，这些基因就关闭了。

但干细胞在整个生命过程中保持重新生长成任何类型细胞的能力。尽管科学家对胚胎干细胞评价很高，但也有很多争议，因为每提取一个胚胎干细胞就得牺牲一个胚胎，这就产生伦理问题。（然而，兰札和他的同事别开新路，采用一种已经变成一种类型细胞的成人干细胞，然后

把它们反转回胚胎干细胞。）

干细胞很有潜力，可医治许多的疾病，如糖尿病、心脏病、阿尔茨海默氏痴呆症、帕金森氏综合征，甚至癌症。事实上，很难找到一种疾病是干细胞不对它产生重要的影响。一个特别的研究领域是脊髓损伤，曾经认为它是完全不能治愈的。在1995年，英俊的演员克里斯托弗·里夫（Christopher Reeve）受到严重的脊髓损伤，让他完全瘫痪，却没有办法医治。然而，在动物研究中，用干细胞修复脊髓损伤取得了巨大进展。

例如，科罗拉多（Colorado）大学的斯蒂芬·戴维斯（Stephen Davies）处理老鼠脊髓损伤取得了令人印象深刻的成功。他说："在试验中，我把成熟的神经元移植到成熟的中枢神经系统中。一个真正的弗兰肯斯坦（Frankenstein）试验。让我们十分惊奇的是，仅在一周之内，成熟的神经元就能从大脑的一侧发送新的神经纤维到大脑的另一侧。"在处理脊髓损伤中，广泛认为任何企图修复神经的做法也会产生巨大的痛苦。戴维斯发现一种关键的叫做"星细胞"（astrocyte）的神经细胞有两种类型，会产生不同的结果。

戴维斯说："用正确的星细胞修复脊髓损伤，有收益而没有痛苦，而用其他类型的星细胞则效果相反，有痛苦而没有收益。"此外，他相信，他领先研究的同样的干细胞技术也对中风病人、阿尔茨海默氏痴呆症和帕金森氏综合征疾病有用。

因为实际上身体的每一个细胞都可以通过改变为胚胎干细胞产生，因此可能性是无止境的。然而，明尼苏达（Minnesota）大学心血管修复中心主任多丽丝·泰勒（Doris Taylor）警告说，还需要做很多工作。"胚胎干细胞可以表现好、坏和丑。当它们好时，它们能在实验室大量生长，通常形成组织、器官或身体部分。当它们坏时，它们不知道何时停止生长，形成肿瘤。当它们丑时，我们不知道它意味着什么，因此我们不能控制结果，在实验室中做更多的研究之前我们不准备使用它们。"她说。

干细胞研究面临的主要问题之一是：这些干细胞，没有来自环境的化学暗示，可以持续地疯狂地增生扩散，直到成为恶性肿瘤。科学家现在认识到，在两个细胞之间传递的微妙的化学信息，告诉这些细胞何时和在哪儿生长或停止生长，这些信息是和细胞本身一样重要的。

然而，这些研究工作还是取得了缓慢的实质性的进展，特别是在动物研究中。在2008年，泰勒（Taylor）成了报纸的头条新闻，她的团队在历史上首次几乎从无到有地培育了跳动的老鼠心脏。她的团队从一个老鼠的心脏开始，溶解这个心脏内的细胞，只剩下架子，一个心脏形状的蛋白质机体。然后他们把心脏干细胞的混合物种植到这个机体中，注视干细胞开始在这个架子内增生扩散。以前，科学家已能够在培养皿中培育单个的心细胞。但这是首次在实验室中培育实际跳动的心脏。

培育心脏对她个人来说也是一件令人激动的事情。她说："真是太美妙了，你可以看到完整的血管树（vascular tree），从动脉到送血至每个心脏细胞的小静脉。"

还有一个美国政府部门对器官工程领域的突破有着敏锐的兴趣：这就是美军。在过去的战争中，在战场上的死亡率是令人震惊的，整个兵团伤亡，很多人死于受伤。现在快速响应医疗撤离队将伤员用飞机从伊拉克和阿富汗送到欧洲和美国，接受顶尖的治疗。美国士兵的存活率呈火箭式上升。失去四肢的士兵的数目也是这样。结果，美军要优先考虑找到一种生长四肢的方法。

再生医疗军事研究所（AFIRM）做出了一项突破，发现一种生长器官的根本性的新方法。科学家已经知道蜥蜴有着惊人的再生能力，在失去一个肢体后能再生一个。这些肢体之所以能够重新生长，是因为蜥蜴的干细胞受刺激后生长新的肢体。匹兹堡（Pittsburgh）大学的斯蒂芬·巴迪拉克（Stephen Badylak）所探索的理论已开花结果，他成功地再生了手指尖。他的团队创造了"精灵粉末"（pixie dust），具有神奇的再生组织的能力。它不是从细胞内产生的，而是从存在于细胞之间的细胞外基质产生的。这个基质之所以重要是因为它含有特定信号，能告诉干细胞按特定的方式生长。当这个精灵粉末用于被切掉的手指尖时，它不只是刺激了指尖，也刺激了指甲，产生近乎于完美的原来手指尖的复制品。长至1/3英寸（0.85厘米）的手指尖和指甲以这种方式长出。下一个目标是扩充这个方法，看看是否能重新生长一个完整的人的肢体，就像蜥蜴那样。



克隆

如果我们能够培育人体的各种器官，那么我们就能够再生一个完整的人，创造一个精确的遗传复制品，一个克隆吗？尽管有大量报告是反对的，但回答在原则上是肯定的，虽然目前还没有做到。

克隆（clones）在好莱坞电影中是一个喜爱的话题，但是它们通常让科学倒退。在电影《第六天》（*The 6th Day*）里，阿诺德·施瓦辛格（Arnold Schwarzenegger）的人物大战中有一帮掌握了克隆人的艺术的坏家伙。更重要的，这些坏家伙掌握了复制人的整个记忆，然后把它放进克隆人之中的艺术。当施瓦辛格设法消灭了一个坏家伙，一个新的有同样个性和记忆的坏家伙又跳出来。当他发现有一个克隆人是在他不

知道的情况下复制的是他，事情就变得更糟了。（在现实中，当一个动物被克隆时，记忆是不能克隆的。）

克隆的概念在1997年成了世界各大报纸的大字标题，那一年，爱丁堡大学罗斯林（Roslin）研究所的伊恩·威尔穆特（Ian Wilmut）克隆了绵羊玩具娃娃多利（Dolly）。从成年羊的身上取一个细胞，提取细胞核内的DNA，然后把这个核插入卵细胞，威尔穆特完成了创造原来动物的遗传复制品的奇迹。我曾经问过他，是否想过媒体会因为他的历史性发现而炸开了锅。他说没有。他清楚地知道他的工作的医学重要性，但是低估了公众对他的发现的入迷。

很快，全世界的各个小组开始复制这个奇迹，克隆各种动物，包括老鼠、山羊、猪、狗、马和牛。我曾经和BBC一个摄制组访问得克萨斯州达拉斯城外的罗恩·马奎斯（Ron Marquess），他有一个在美国最大的克隆牛农场之一。在这个大农场，我吃惊地看到第一代、第二代甚至第三代克隆牛——克隆的克隆的克隆。马奎斯告诉我，他不得不发明一部新的字典来追踪克隆牛的各代。

一群牛吸引了我的眼球。有8头同样的孪生牛，全都排成一排。它们走、跑、吃和睡都完全排成一排。尽管这些牛没有概念它们是互相克隆的，但它们本能地聚在一起，模仿彼此的动作。

马奎斯告诉我，克隆牛是一个有潜在利益的生意。如果你有一头具有超强身体素质的公牛，那么用这头牛繁殖会有很好的价值。但是如果这条公牛死了，那么它的遗传线就断了，除非它的精子被收集和冷藏起来。利用克隆就能保持有价值的公牛遗传线，它将永远是活着的。

尽管克隆对于动物和动物饲养业有商业应用价值，但对人的意义却不太清楚。尽管有一些令人感动的声明说人的克隆已经实现了，但所有这些说法也许是假的。到目前为止，没有一个人成功地克隆一个灵长类动物，更不要说人了。即便是克隆动物也被证明是很难的，因为每一个晶胚（embryos）要完全成熟会产生几百个有缺陷的晶胚。

即便人的克隆成为可能，也还有社会的障碍。首先，很多宗教反对克隆人，类似于天主教在1978年反对试管婴儿，那时路易斯·布朗（Louise Brown）成了历史上第一位在试管中培育的婴儿。这意味着禁止这项技术的法律可能通过，或者至少要严密管理。第二，克隆人的商业要求将很小。最多大概只有一小部分人类被克隆，即便是合法的话。毕竟，我们已经有了克隆，是以双胞胎或三胞胎的形式，因此人类克隆的新鲜劲将逐渐消失。

原来，对试管婴儿的需求是很大的，因为有一大批不孕的夫妇。但是谁愿意克隆人呢？也许父母悲痛孩子的早逝。或者，很可能的，一个富翁临死的时候没有继承人，或者没有他特别关怀的继承人，想把他所有的钱遗赠给他自己，又变成一个孩子重新开始。

因此，在将来尽管可能会通过法律禁止，但克隆人将可能存在。然而，他们将代表只有一小部分的人类种族，其社会后果是相当小的。



基因治疗

弗朗西斯·柯林斯（Francis Collins）是当前国家健康研究所所长，还是政府的历史上著名的人类基因组项目的领导人，他告诉我“我们每个人都有10来个被完全毁坏的基因”。在远古的过去，我们不得不经受由于这些经常致命的遗传缺陷造成的痛苦。在将来，他告诉我，我们可以通过基因疗法治愈这些基因。

遗传疾病从人类历史一开始就困扰着人类，在关键时刻可以实际上影响历史的进程。例如，因为在欧洲皇室家庭的近亲婚姻，遗传疾病折磨着几代贵族。例如，英国的乔治三世很可能患有剧烈的间歇性卟啉症（porphyria），会引起临时性的神经错乱。有些历史学家推测，这个疾病恶化了他与殖民地的关系，促使他们在1776年宣布脱离英国而独立。

维多利亚女王是血友病基因的携带者，这种病引起无法控制的流血。因为她有9个孩子，很多与欧洲其他皇室家庭结婚，这就把这种“皇家疾病”传播到欧洲大陆。在俄国，维多利亚女王的重孙亚历克西斯（Alexis），是尼古拉斯二世的儿子，他患有血友病，表面上能被神秘的拉斯普丁（Rasputin）临时控制。这个“妖僧”拉斯普丁因此得到足够的权力使俄国贵族瘫痪，推迟了急需的改革，正如一些历史学家推测的，或者就帮助布尔什维克在1917年发动了革命。

但是在将来，基因治疗也许能够医治5000多种已知的遗传疾病，如囊肿性纤维化症（cystic fibrosis）（它折磨着北欧人）、黑蒙性家族痴呆症（Tay-Sachs）（它影响东欧犹太人）和镰状细胞性贫血症（sickle cell anemia）（它折磨非洲裔美国人）。在不远的将来，应当可能医治很多由单个基因突变引起的遗传疾病。

基因治疗分成两种类型：单体和种系。

单体基因治疗是修复单体的破损基因。在单体死亡时这种治疗价值就消失了。更有争议的是种系基因治疗，修复“性细胞”的基因，将修复的基因传到下一代，达到一劳永逸的效果。

治疗遗传疾病遵循一条长期的，但完全确定的路线。首先，必须找

到一个某种遗传疾病的受害者，然后耐心地追踪他们的家族历史，追溯上几代人。分析这些人的基因，然后试图确定受损基因的位置。

然后，取一个健康版本的那个基因，将它插入一个“载体”（vector）（通常是一个无害的病毒），然后将它注射到患者身上。这个病毒很快将“好的基因”插入患者的细胞，潜在地治疗这个患者的疾病。在2001年，有500例基因治疗实验在进行或者在全世界的研究之中。

然而，基因治疗的进展是缓慢的，结果也不一样。一个问题是，身体中的危险病毒常常搅乱含有“好基因”的无害的病毒，并开始攻击它。这可以引起负面影响，抵消好基因的作用。另一个问题是，没有足够的无害病毒将好的基因恰当地插入到它的靶细胞中，结果身体不能产生足够的适量的蛋白质。

尽管基因治疗十分复杂，法国科学家在2000年宣布他们已能治疗患有严重联合免疫缺陷症（SCID）的儿童，这些孩子生来就没有健全的免疫系统。有些严重联合免疫缺陷症患者，如“泡沫孩子大卫”（David the bubble boy）只能生活在消过毒的塑料泡沫中度过余生。没有免疫系统，任何疾病都是致命的。对这些患者的遗传分析表明，他们的免疫细胞的确不能按计划与新的基因结合，因此不能激活他们的免疫系统。

但是，基因治疗也有出现挫折的情况。在1999年，在宾夕法尼亚大学，一个患者死于基因治疗，引起医疗界的自我反省。它是1100个患者经受这种治疗死亡的第一例。并且到2007年，在10个接受特定严重联合免疫缺陷症治疗的患者中有4个患者产生了严重的副作用，得了白血病。严重联合免疫缺陷症基因治疗的研究现在集中在治疗这种疾病，而不意外激发能够产生癌细胞的基因。到目前为止，有17位各种严重联合免疫缺陷症的患者既消除了联合免疫缺陷症也没有患癌症，是在这个领域少有的成功之一。

基因治疗的一个目标实际上是癌症。几乎50%的所有常见的癌症是与损伤的基因P53（人体抑癌基因）有关的。P53基因很长很复杂，因此更容易受环境和化学因素引起的损伤。因此很多基因治疗试验是将健康的P53基因插入患者。例如，抽烟经常引起P53基因中3个众所周知的位置出现特有的变化。因此基因治疗，通过替代损伤的P53基因，也许有一天能够医治某种形式的肺癌。

基因治疗的进展是缓慢的，但是稳步向前的。在2006年，马里兰州的国家健康研究所的科学家成功地处理了转移性黑色素瘤，一种形式的皮癌，他们改造T细胞杀手，使它们专门瞄准癌细胞。这是第一例研究说明基因治疗可以成功用来医治某种形式的癌症。并且在2007年，伦敦的大学学院和摩菲眼科医院（the University College and Moorfields Eye Hospital）利用基因疗法治疗了某种形式的遗传视网膜疾病（由基因RPE65变异引起）。

同时，一些夫妇不等基因治疗，而是将遗传继承掌握在自己手里。一对夫妇可以产生若干受精晶胚用于体外（vitro）授精。每一个晶胚可以检验有无特定的遗传疾病，选择没有遗传疾病的晶胚植入母亲体内。用这种方法，遗传疾病会逐渐消失，而无须昂贵的基因治疗技术。在布鲁克林的一些东正教犹太人正在用这种方法，因为他们患黑蒙性家族性痴愚病的风险很大。

然而，有一种疾病将在这个世纪自始至终顽固存在，这就是癌症。



与癌症共存

回到1971年，理查德·尼克松总统在公众的一片欢呼声中庄严地向癌症宣战。他相信只要投钱进去，治疗癌症指日可待。但是40年之后，2000亿美元投进去了，癌症仍是美国死亡人数占第二位的主要原因，25%的死者与癌症有关。从1950年到2005年，癌症死亡率仅降低了5%（调整年龄和其他因素）。仅这一年估计，癌症就要了562000个美国人的命，或一天1000多人。一些疾病的癌症率下降，但另一些疾病的癌症率却顽固地保持不变。癌症的治疗会毒害、限制和杀死人体组织，给患者留下一串眼泪，他们常常想哪个更糟，是疾病还是治疗。

我们事后才看出问题在哪儿？回到1971年遗传工程革命之前，癌症的原因完全是个谜。

现在科学家认识到癌症基本上是基因的疾病。不管癌症是由于病毒、化学暴露、放射性或偶然的机会引起的，它都涉及4个或更多的基因变异，其中一个正常的细胞“忘记如何死亡”了。这个细胞的繁殖失去了控制，无限制地繁殖，最终杀死了患者。4个或更多个有缺陷的基因需要一个发展过程才能引起癌症，这可能就是为什么常常要在最初的变异发生几十年后它才置人于死地。例如，也许当你还是一个孩子的时候你有一个严重的晒斑。几十年后也许在同一部位发展成皮癌。这意味着或许要经过很长的时间，其他的变异才会发生，最后将这个细胞转变为癌的模式。

至少有两种主要类型的癌基因，致癌基因和肿瘤抑制基因。它们的功能好像汽车的加速器和刹车。致癌基因的作用好像加速油门踩下的位置，因此癌症这辆车失去控制，细胞不受限制地繁殖。肿瘤抑制基因的作用通常像一个刹车，因此当它受损后，细胞就像一辆刹不住的车一

样。

“癌症基因组项目”（Cancer Genome Project）计划对大多数的癌进行基因排序。因为每一种癌都要求对人类基因组排序，所以“癌症基因组项目”比原来的人类基因组项目要庞大几百倍。

在2009年宣布了这个长期等待的癌症基因组项目的一些首批结果，主要涉及皮癌和肺癌。结果是令人吃惊的。威康信托基金会桑格（Wellcome Trust Sanger）研究所的迈克·斯特拉顿（Mike Stratton）说：“今天我们看到的事情正在转变我们看待癌症的方式。以前我们从来没有看到癌症以这种形式揭露出来。”

来自肺癌的细胞有令人惊骇的23000个变异体，而黑色素瘤癌细胞有33000个变异体。这意味着一个通常抽烟的人平均每抽15根香烟就产生一个变异。（肺癌每年在全世界杀死100万人，大多数由于抽烟。）

这个项目的目标是遗传分析所有类型的癌，共有100多种。身体中的很多组织全都可能癌变；每一种组织可以有很多类型的癌；在每种类型的癌中有几万个变种。因为每种癌都涉及几万个变种，所以要经过几十年才能精确得出是哪些变种引起细胞机理紊乱。科学家将建立众多种类的癌症的治疗方法，但没有一种方法能治疗全部，因为癌本身就像一个疾病的搜集器。

新的处理和治疗方法也将不断地进入市场，所有的设计是打击癌的分子和遗传核心。一些有希望的治疗方法如下：

- 血管生成抑制法，或切断肿瘤的供血，使它永不生长。
- 用像“智能炸弹”一样的纳米粒子指向癌细胞。
- 基因治疗，特别是人体抑癌基因P53。
- 只轰击癌细胞的新药物。
- 新疫苗消灭致癌病毒，如能引起子宫癌的乳头瘤病毒（HPV）和宫颈癌。

不幸的是，我们不大可能发现一颗消灭癌症的魔法子弹，而只能一次一步地治疗癌症。更可能的是，当我们周围的环境到处都分布了DNA芯片，在肿瘤形成之前监视癌细胞，将会大大降低死亡率。

正如诺贝尔奖得主戴维·巴尔的摩（David Baltimore）所说：“癌是一个与我们的治疗作战的军队，它迫使我们要不断地与它战斗。”

中期（2030—2070）



基因治疗

尽管基因治疗遇到挫折，但研究人员相信在未来的几十年基因治疗会取得稳定的收获。到本世纪中叶，很多人认为基因治疗将成为处理各种遗传疾病的标准方法。科学家在动物身上取得的很多成功将最终转移到人的研究上。

到目前为止，基因治疗是针对单个基因变异引起的疾病。这些疾病将首先被治愈。但是很多疾病是多个基因变异引起的，还有环境的诱发因素。这些疾病更难治疗，但它们包括了重要的疾病，如糖尿病、精神分裂症、阿尔茨海默氏痴呆症、帕金森氏综合征和心脏病。所有这些疾病都表现出明确的遗传模式，但不是单个基因造成的。例如，很可能有一个神经分裂症患者，他的双胞胎兄弟或姐妹是正常的。

多年来，有不少人宣布，科学家用追寻某些家族的遗传历史的方法，已经能够确定某些基因与神经分裂症有关。然而，令人尴尬的是，这些结果常常不能通过其他独立的研究所证实。因此这些结果是有缺陷的，也许很多的基因与神经分裂症有关。此外，一些环境因素似乎也有关系。

到本世纪中叶，基因治疗应该成为成熟的治疗方法，至少是单个基因引起的疾病。但是患者也许不会满足只是修复基因。他们也希望改进它们。



儿童设计师

到本世纪中叶，科学家将不只是修复破损的基因，实际上还要增强

和改善它们。

想要有超人的能力是一个古代就有的愿望，深深地扎根在希腊和罗马的神话和我们的梦想里。伟大的英雄大力神赫拉克勒斯（Hercules）是全希腊和罗马最著名的半神半人，他获得他的伟大的力量不是从锻炼和饮食，而是注入了神的基因。他的母亲是一个美丽的凡人阿尔克墨涅（Alcmene），有一天得到宙斯的注意，他假装成她的丈夫和她做爱。当她怀上孩子后，宙斯宣布这个孩子有一天要成为最伟大的战士。但是宙斯的妻子，赫拉（Hera），由于嫉妒秘密计划用推迟孩子出生的办法杀害他。阿尔克墨涅在漫长的分娩期间经受了极大的痛苦，差一点死掉。但是在最后一刻赫拉的阴谋暴露了，阿尔克墨涅生下一个异乎寻常的大婴儿。大力神赫拉克勒斯（Hercules）半神半人，继承了像神一样的他父亲的力量，完成了英雄的史诗般的业绩。

在将来，我们也许不能创造神的基因，但是我们肯定能够创造使我们有超人能力的基因。就像阿尔克墨涅难产一样，会有很多困难使这项技术开花结果。

到本世纪中叶，“设计的儿童”（designer　children）可能成为现实。正如哈佛大学生物学家E．O.威尔逊（E．O．Wilson）说过：“现代人，即第一个真正自由的种类，就要退出自然选择，不再由自然的力量铸造我们……不久我们必须深入地查看我们自己，决定我们希望成为什么样子。”

科学家已经梳理出控制基本功能的基因。例如，已经在1999年隔离出增强老鼠记忆力和性能的“聪明老鼠”基因。有了聪明基因的老鼠能够更好地走出迷宫和记住事情。

普林斯顿大学的科学家，如约瑟夫·齐恩（Joseph　Tsien）创造了一个品种的遗传改变的老鼠，有着额外的叫做NR2B的基因，能够帮助在老鼠的前脑引发神经传递介质N-甲基-D-天冬氨酸（N-methyl-D-aspartate，NMDA）的产生。聪明老鼠的创造者把它们命名为杜奇（Doogie）老鼠（取自电视角色杜奇·豪斯尔博士）。

这些聪明老鼠在各个试验中的性能都超过普通的老鼠。如果把一只老鼠放在一桶牛奶水中，它必须发现一个藏在水面下的平台上才能停在上面。普通的老鼠不记得这个平台在哪，绕着桶乱游，而聪明老鼠能一下子就直线行进找到它。如果让老鼠看两个物体，一个老的，一个新的，普通老鼠不注意新的物体。但聪明老鼠立刻知道这个新物体的存在。

更重要的是科学家懂得了这些聪明老鼠的基因是怎样工作的：它们调节大脑的神经突触（synapses）。如果把大脑看成一个巨大的高速公路的集合，那么神经突触就等于收费站。如果收费站票价太高，那么汽车就不能通过：一个信息就停在大脑内。但是如果收费站票价低，那么

汽车就能通过，这个信息也传到大脑里。N-甲基-D-天冬氨酸（NMDA）这类的神经传递介质降低神经突触的票价，使信息容易自由通过。聪明老鼠有两份NR2B基因，它将帮助产生N-甲基-D-天冬氨酸（NMDA）神经传递介质。

这些聪明老鼠验证了赫布规则：当某些神经路径增强时，学习发生了。尤其是，这些路径可以通过调节连接两个神经纤维的神经突触得到增强，使信号容易通过神经突触。

这个结果可以帮助解释有关学习的某些特性。大家都知道衰老的动物学习能力低。在整个动物王国都是这样。这也许是因为随着衰老NR2B基因变得不那么活跃了。

此外，正如我们前面看到的，根据赫布规则，当神经元形成强连接时，记忆力可以产生。这也许是真的，因为激活N-甲基-D-天冬氨酸（NMDA）受体产生了强连接。



强大的老鼠基因

此外，“强大老鼠基因”也提取出来了，它能增加老鼠的肌肉块，使老鼠看上去肌肉发达。它首先是在有异乎寻常大肌肉的老鼠身上发现的。科学家现在认识到其中的关键是肌肉生长抑制素（myostatin）基因，它帮助肌肉生长处在受控制状态。但是在1977年，科学家发现当肌肉基因安静时，肌肉生长急遽扩张。

另一个突破是随后不久在德国完成的，科学家在检查一个新生儿时发现他的大腿和胳膊有与众不同的肌肉。超声波分析表明，这个孩子的肌肉是平常人的两倍。对这个孩子和他母亲（一位专业赛跑选手）的基因排序，他们发现类似的基因模式。事实上，这个孩子的血液分析表明他什么肌肉基因都没有。

约翰·霍普金斯大学医学院（Johns Hopkins Medical School）的科学家开始的时候急于与肌肉退化患者联系，认为他们也许会从这个结果受益，但他们失望地发现，打到他们办公室的电话有一半是来自健美运动者，他们想要能让他们肌肉发达的基因，而不管后果如何。也许这些健美运动者知道阿诺德·施瓦辛格的令人惊奇的成功，他承认使用了类固醇才实现他的辉煌而短暂的职业生涯。因为人们对肌肉基因的强烈兴趣和不容易查禁它，所以奥林匹克委员会甚至被迫设立一个专门委员会注

视它。不像类固醇容易用化学试验检测，这个新的方法，因为涉及基因和它们产生的蛋白质，所以更难检测。

对在出生时就分开的双胞胎所做的研究表明，有很多种行为特性是受遗传影响。事实上，这些研究表明，大约50%的双胞胎的行为是受基因影响的，其他50%是受环境影响的。这些特性包括：记忆、口头推理、空间推理、处理速度、外向性和寻找刺激。

甚至曾经认为是复杂的行为现在也揭示出有遗传的根源。例如，大草原野鼠是一雌一雄的。实验室的老鼠是混杂的。埃默里（Emory）大学的拉里·杨（Larry Young）吃惊地发现，从大草原野鼠转移一个基因到老鼠，这些老鼠就会呈现一雌一雄的特点。每一个动物有一个不同版本的与某种大脑缩氨酸（peptide）的受体，是和它们的社会行为和交配有关的。杨（Young）把这个受体的野鼠基因转移到老鼠上，发现这个老鼠的行为就更像一雌一雄的野鼠。

杨（Young）说："尽管很多基因很可能与复杂社会行为，如单配偶等有关……单个基因表现的改变也对这些行为的成分，如从属性产生影响。"

悲观和乐观也许也有基因根源。早就知道有的人即便遭受了悲惨的意外事故也是乐观的。他们总是看到事物光明的一面，甚至面对挫折也这样。而另一些人可能就被毁了。乐观的人也倾向于比普通人更健康。哈佛大学心理学者丹尼尔·吉尔伯特（Daniel Gilbert）告诉我，一个理论也许能解释这个问题。大概我们出生时有一个"幸福设置点"（happiness set point）。每一天我们可以围绕这个设置点上下浮动，但它的总体水平是在出生时就固定的。在将来，通过药物或基因治疗可以移动这个设置点，特别是对那些长期消沉的人。



生物技术革命的负面影响

到本世纪中叶，科学家将能够提取和改变很多能够控制人的各种特性的单个基因。但这并不意味着人类将立即由此受益。还有一个漫长的艰苦的工作抹平负面影响和不希望的结果，这需要几十年。

例如，希腊神阿基里斯（Achilles）在战斗中是不可战胜的，他领导战无不胜的希腊军队与特洛伊人（Trojans）进行了一场史诗般的战役。然而，他的能力有一个致命的弱点。当他是个婴孩的时候，他的母

亲为了使他不可征服把他浸泡在魔法河冥河（Styx）中。当她把他放到河里时，她不得不抓住他的脚后根，留下一个关键的弱点。后来在特洛伊战争中他被箭射中脚后跟死了。

今天，科学家在想，在他们实验室创造出的新品种的生物是不是也有一个隐藏的阿基里斯脚后跟。例如，今天有33种不同的“聪明老鼠”增强了记忆和性能。然而，增强记忆也带来了意想不到的副作用，聪明老鼠有时被吓瘫了。例如，如果用极微弱的电流电击它一下，它就吓得发抖。“就好像它们记得太多了。”加州大学洛杉矶分校（UCLA）的阿尔西诺·席尔瓦（Alcino Silva）说，他培育了他自己的一种聪明老鼠。科学家现在认识到，在认识这个世界和组织我们的知识中忘记和记住是同样重要的。也许为了系统化我们的知识，我们不得不扔掉一些文件。

这让我们想起20世纪20年代的一个案例，是俄国神经学家A．R.卢里亚（A．R．Luria）记录下来的，是有关一个有照相记忆功能的人。只要看一眼但丁的《神曲》（*Divine Comedy*），这个人就能记住每一个词。这对他做新闻记者的工作很有帮助，但是他不能理解语音表达。卢里亚观察说：“他的理解障碍是无法克服的：每一个表达都产生一个图像，和前面已经产生的另一个图像相冲突。”

事实上，科学家相信在忘却和记忆之间必须有一个平衡。如果你忘得太多，你能够忘记以前错误的痛苦，但也忘记了关键的事实和技能。如果你记得太多，你能够记得重要的细节，但是你也可能被每一个伤害和挫折的记忆吓得瘫痪。只有这两者平衡才能产生最佳的理解。

肌肉健美者已经蜂拥争抢各种药物和接受各种能使他们获得名声和光环的治疗。荷尔蒙促红细胞生长素（EPO）的作用是能产生更多的含氧红血球细胞，因此能增加耐力。但是因为荷尔蒙促红细胞生长素使血液变黏稠，因此也容易触发中风和心脏病。类胰岛素生长因子（IGF）是有用的，因为它们能帮助蛋白质扩大肌肉，但是它们也能促进肿瘤的生长。

即便是通过了禁止遗传增强的法律，遗传增强也很难停止。例如，父母亲通常想通过遗传增强把每一个优点传给他们的孩子。一方面，这意味着让孩子们上小提琴、芭蕾、运动课。但是另一方面，这意味着给他们遗传增强，改进他们的记忆、注意力范围、运动能力，也许还有外表。如果有谣传邻居的孩子得到了遗传增强，为了自己的孩子与邻居的孩子竞争，父母亲将面临巨大的压力也要给自己的孩子同样的好处。

正如格雷戈里·本福德（Gregory Benford）说过：“我们都知道好看的人做事也漂亮。如果有人说在这个勇敢的新世界的竞争中应该给孩子强有力的腿，父母能反对这种意见吗？”

到本世纪中叶，遗传增强也许会变成平常的事。事实上，如果我们要探索太阳系和居住在荒凉的行星上，遗传增强甚至是必不可少的。

一些人说我们应该利用设计的基因使我们更健康和更幸福。另一些人说我们应该考虑整容增强。一个大问题是我们要走多远。无论如何，增强外表和性能的“设计的基因”的传播将变得越来越难以控制。我们不想让人类分成不同的遗传派别，不管增强还是不增强，但是社会必须民主地决定这项技术要走多远。

我个人相信将通过法律管制这个强大的技术，有可能允许基因治疗医治疾病，让我们过富有成效的生活，但是限制基因治疗纯粹用于整容的目的。这意味着最终会产生一个黑市交易，打擦边球绕开这些法律，因此我们也许要适应一个有小部分人是遗传增强的社会。

在很大程度上，这也许不会成为灾害。已经有人用整形外科手术改进了外表，因此为此使用基因工程也许是不必要的。但是如果试图遗传改变一个人的个性，危险就可能产生了。大概有很多基因影响行为，并且它们以复杂的方式相互作用，因此，篡改行为基因可能产生想不到的副作用。也许要花几十年才能找出这些副作用。

但是，所有这些基因增强中最重要的增强是延长人的寿命，这方面将会有怎样的结果呢？

远期（2070—2100）



逆转衰老

在整个历史上，国王和军阀有权力控制整个帝国，但是有一件事情他们永远控制不了：衰老。因此，寻找长生不老成了人类历史上最古老的要求。

在圣经里，上帝把亚当和夏娃赶出伊甸园，因为他们不听他的命令，分别吃了善恶树上的果子。上帝害怕亚当和夏娃利用这些知识解开长生不老的秘密，也变成神。在《创世记》3：22一章中，圣经写道："看，那个人已经变得像我们一样，知道善恶。现在恐怕他又要伸手摘生命树的果子吃，就要长生不老了。"

除圣经之外，人类文明的最古老和最伟大的传说之一要回到公元前27世纪，是关于美索不达米亚最伟大的战士的《吉尔伽美什史诗》（*The Epic of Gilgamesh*）。当他的终身的忠实的同伴突然死去时，吉尔伽美什决定着手旅行去寻找长生不老的秘密。他听到一个传闻，上帝准予一个聪明的人和他的妻子长生不老，但实际上他们仅仅是在"大洪水"后在他们的土地上存活下来的。在艰难的寻找之后，吉尔伽美什发现了长生不老的秘密，但是在最后一刻他看见一个大毒蛇把它夺走。

因为《吉尔伽美什史诗》是最古老的文献篇章，所以历史学家相信，正是这个探求长生不老的故事鼓舞了希腊作家荷马（Homer）写下《奥德赛》（*Odyssey*），和在圣经中提到的诺亚大洪水。

很多早期的国王，如在公元前200年左右统一中国的秦始皇，派了巨大的船队去找"青春泉"，但都失败了。（根据神话，秦始皇命令他的船队找不到"青春泉"就不要回来。由于找不到泉水，又不敢返回，他们建立了日本国。）

几十年来，大多数科学家相信人的寿命是固定的和不可改变的，是科学研究解决不了的。在过去几年内，在一系列使这一领域发生革命的令人惊叹的试验结果的冲击下，这个观点被粉碎了。曾经沉睡的停滞不前的老年医学现在成了最热门的领域，吸引几亿美元研究资金，甚至产生商业发展的可能性。

衰老过程的秘密现在被揭开了，遗传在这个过程中起着至关重要的作用。看看动物王国，我们看到各种动物寿命的差别很大。例如，我们的DNA与我们的遗传近亲黑猩猩仅差1.5%，然而，我们的寿命比它们长50%。分析若干使我们不同于黑猩猩的基因，我们就可以确定为什么我们比我们的遗传近亲活得长。

这就给我们一个“统一的衰老理论”（unified theory of aning），使各种研究线索扭成一个单一的、一致的纽带。科学家现在知道衰老是什么。它是在遗传和细胞级别上错误的累积。例如，新陈代谢产生自由基和氧化作用，损伤细胞的精细的分子结构，使它们衰老。错误可以在细胞内和细胞外以“垃圾”分子碎片的形式累积。

这些遗传错误的积累是热力学第二定律的副产品：总熵（也就是混乱）总是增加。这就是为什么生锈、腐烂、衰退等是生命的普遍特点。热力学第二定律是不可避免的。每一件事物，从田野里的花朵到我们的身体，甚至宇宙本身是注定要萎缩和死亡的。

但是在热力学第二定律说总熵“总是”增加时，这里有一个小的、重要的漏洞。这意味着可以在一个地方实际减少熵和逆转衰老，只要在某些别的地方增加熵。因此有可能变得年轻，代价是在别的地方造成破坏。〔在奥斯卡·王尔德（Oscar Wilde）的著名小说《道林格雷的肖像》（*The Picture of Dorian Gray*）里曾间接提到这一点。格雷先生神秘地永远年轻。但他的秘密是绘画可怕地衰老的他自己。因此衰老的总量仍然增加。〕观察电冰箱的背面也可以明白熵的原理。在电冰箱中，因为温度降低，所以熵减少。但是要降低熵，必须有一个马达，它增加电冰箱背后产生的热，增加了机器外面的熵。这就是为什么电冰箱背面总是热的。

正如诺贝尔奖得主理查德·费曼（Richard Feynman）曾经说过：“在生物学还没有发现任何事实说明死亡是必然的。这对我来说意味着死亡并不是根本不可避免的，它只是一个时间问题，需要科学家发现这是什么造成的，人的身体这个可怕的普遍的疾病和短暂的生命是可以得到医治的。”

热力学第二定律也可以从女性雌激素的作用看出，它保持妇女年轻和有活力，直到更年期后衰老才加快，死亡率增加。雌激素就像将高辛烷燃料注入跑车。这种车的性能很好，但代价是引起发动机更多的磨损和破坏。对于妇女来说，这个磨损和破坏可以表现为乳腺癌。事实上，已经知道注射雌激素会加速乳腺癌的生长。因此，妇女在更年期前为年轻和活力付出的代价可能是总熵的增加，在这种情况下患乳腺癌的可能增加。（提出了一些理论解释近年来乳腺癌得病率的增加，当中有很大的争议。一种理论认为它部分与妇女所有的月经周期的总次数有关。在整个古代的历史上，青春期妇女或多或少地不断地怀孕，在更年期开始之后就很快死了。这意味着她们的月经周期少，雌激素水平低，因此乳腺癌也许就相对的低。今天，年轻女孩成熟早，月经周期多，平均只生

1.5个孩子，寿命超过了更年期，因此雌激素的作用要高得多，可能会造成乳腺癌得病率升高。）

近来，发现了有关基因和衰老的重要的线索。首先，研究人员证明有可能培育出比正常动物寿命更长的一代动物。特别是，可以在实验室培育酵母细胞、线虫类蠕虫和果蝇比通常的寿命更长。加利福尼亚大学欧文（Irvine）分校的迈克尔·罗斯（Michael Rose）宣布，通过选择培育可以将果蝇的寿命增加70%，这一消息震惊了科学世界。他的“超级果蝇”，或称玛士撒拉（Methuselah）果蝇，有较高数量的抗氧化作用的过氧化物歧化酶（SOD），能够减缓自由基引起的损伤。在1991年，在布尔德尔（Boulder）的科罗拉多大学的托马斯·约翰逊（Thomas Johnson）提取了一个基因，他把它称为衰老1（age-1），似乎和线虫类的衰老有关，110%的含量就可以使它们的寿命增加。“如果在人体上存在类似衰老1的某种东西，我们也许真的能够做出一些令人惊讶的事情。”他说。

科学家现在提取了一些基因〔衰老1、衰老2（age-2）、抗衰老2（daf-2）〕，这些基因控制和调节低级生物的衰老过程，但这些基因在人身上也有相似的东西。事实上，一位科学家评论说，酵母细胞寿命的改变几乎像揿动电灯泡的开关一样。当你激活某一个基因，这个细胞就活得更长。当你不让这个基因活动，细胞就活得较短。

培育酵母细胞活得更长要比培育人类的繁重的任务简单得多。人活的时间太长，因此对人进行试验几乎是不可能的。但是，在将来提取与衰老有关的基因可以加速，特别是到那时我们都有了我们的基因组刻在一张光盘上。到那时，科学家将有几十亿个基因的可以用计算机进行分析的巨大数据库。科学家可以扫描两组人，青年人和老年人的几百万个基因组。比较这两个组，就可以识别在遗传水平上衰老发生在什么地方。初步地对这些基因进行扫描已经提取了大约60个基因，衰老似乎就集中在这些基因上。

例如，科学家知道长寿倾向与家族有一些联系。长寿人的父母也倾向于有较长的寿命。效果虽然不是戏剧性的，但是可以测量的。有科学家分析了从一出生就分开的双胞胎，也能在遗传水平上看到这一点。但是我们的寿命不是100%的由基因决定的。研究这个问题的科学家相信，我们的寿命只有35%是由基因决定的。因此在将来，当每个人有了自己仅花100美元就可以得到的基因组，我们就可以通过计算机扫描几百万人的基因组，提取部分地控制我们寿命的基因。

此外，这些计算机研究也许能够精确找出衰老主要发生在什么地方。在汽车里，我们知道衰老主要发生在汽油氧化和燃烧的发动机里。同样，基因分析表明衰老是集中在细胞的“发动机”，即线粒体（或称细胞的电力厂）中。这就使科学家缩小了搜索“衰老基因”的范围，寻找在线粒体中加速基因修复的方法，逆转衰老的影响。

到2050年，也许可能通过各种治疗减缓衰老的过程，例如，干细胞、人体商店、修复衰老基因的基因治疗。我们可以活到150岁以上。到2100年，也许能够通过加速细胞修复机制逆转衰老的影响，活得更长。



热量约束

这个理论也解释了热量限制这个奇怪的因素（也就是说，降低我们吃的热量的30%或更多）可增加寿命30%。到此为止研究的每一个生物体，从酵母细胞、蜘蛛、昆虫到兔子、狗和现在的猴子，都呈现这个奇怪的现象。严格限制饮食的动物得肿瘤的少，得心脏病的少，得糖尿病的少，得与衰老有关的疾病少。实际上，热量限制是“唯一”知道的保证延长寿命的机制，反复试验，对几乎整个动物王国，每一次都对。直到目前，研究人员唯一还没有验证的主要物种是灵长类，人类也是其中一员，因为他们活得太长了。

科学家特别焦虑地想看到热量限制对恒河猴的影响结果。最后，在2009年，长期等待的结果出来了。威斯康星（Wisconsin）大学的研究表明，在20年热量限制之后，控制膳食的猴子在前三种疾病：糖尿病、癌症和心脏病的得病几率少。通常这些猴子比正常喂养的猴子更健康。

有一种理论解释其中的原因：自然界给予动物两种“选择”如何利用它们的能量。在食物多的时候，能量用来再生。在闹饥荒的时候，身体关闭再生，保存能量，以便度过饥荒。在动物王国，近饥饿状态是经常的，因此动物频频“选择”关闭再生，减缓新陈代谢，活得更长，希望见到将来的好日子。

衰老研究的关键是要用某种方式保持热量限制的好处，但又不要让人挨饿。人的自然倾向显然是要增加重量，而不是挨饿。事实上，靠热量限制的膳食过活不是一件快乐的事情，这样的膳食淡而无味，隐士都不会愿意吃。此外，动物靠严格限制的膳食喂养会变得昏昏欲睡、行动迟缓、没有性欲。科学家的想法是搜索控制这个机制的基因，这样就能既收获热量限制的好处，又不至于挨饿。

1991年麻省理工学院的研究员伦纳德· P.瓜伦特（Leonard P.Guarente）和其他人，在寻找可能延长酵母细胞寿命的基因时，发现了一个重要线索。瓜伦特（Guarente）、哈佛大学的大卫·辛克莱尔

（David Sinclair）和同事们发现了基因SIR2，它与产生热量限制的影响有关。这个基因是负责检测细胞的能量储备的。当能量储备不足，如在饥荒，基因被激活。这正是我们期待的控制热量限制影响的基因。他们还发现在老鼠和人的身上有与SIR2类似的基因，叫做SIRT基因，它产生的蛋白质叫做抗衰老蛋白酶（sirtuins，暂译为“抗衰老蛋白酶”）。他们接着寻找能激活抗衰老蛋白酶的化学药品，并发现了白藜芦醇（resveratrol）。

这个发现是诱人的，因为科学家相信白藜芦醇（resveratrol）也与红酒的好处有关，也许可以解释“法国的矛盾”（French paradox）。法国烹饪以它的丰富的调料著名，这些调料都是高脂肪和高油的，然而法国人似乎有着正常的寿命。也许这个秘密可以由法国人喝很多的红酒来解释，因为红酒中含有白藜芦醇。

科学家发现抗衰老蛋白酶（sirtuin）催化剂可以保护老鼠不患各种令人敬畏的疾病，根据辛克莱尔（Sinclair）的说法，包括肺癌和结肠癌、恶性黑色素瘤、淋巴瘤、2型糖尿病、心血管病和阿尔茨海默氏病。即便是人的一部分疾病能够通过抗衰老蛋白酶治好，也会使所有的医学发生革命。

近来提出了一个理论解释白藜芦醇的所有不平常的性质。根据辛克莱尔的说法，抗衰老蛋白酶（sirtuin）的主要目的是保护某些基因不被激活。例如，一个单细胞的染色体完全伸展开来有6英尺（1.83米）长，是一个很长很长的分子。在任何时候，在这个6英尺长的染色体里只有一部分基因是需要的，其他的基因必须是不活动的。细胞用染色质将这些不需要的基因紧紧地包裹起来，抑制这些基因，而染色质主要是靠抗衰老蛋白酶维持的。

然而，有时这些精细的染色体发生灾难性的破坏，如DNA的一条链完全断裂。这时，抗衰老蛋白酶（sirtuins）就立刻行动，帮助修复破损的染色体。但是当抗衰老蛋白酶暂时离开它们的岗位去救援时，它们必须放弃抑制基因的主要任务。因此，基因活跃起来，引起遗传混乱。辛克莱尔认为，这个崩溃是衰老的主要机制之一。

如果这是真的，那么也许抗衰老蛋白酶（sirtuins）不仅能停止衰老的进程，还能逆转它。细胞的DNA损伤是很难修复和逆转的。但是辛克莱尔相信，衰老大部分是由于抗衰老蛋白酶离开它们的主要任务，是细胞退化引起的。他声称，这些抗衰老蛋白酶的转移是容易逆转的。



青春之源？

然而，这个发现的一个副产品在媒体界引起一片哗然和兴奋。突然间，“60分钟”（60 *Minutes*）和“奥普拉·温弗瑞脱口秀”（*The Oprah Winfrey Show*）以显著的地位报道白藜芦醇，在因特网上一窝蜂地迅速流传，不可信任的公司一夜之间腾空而起，承诺提供不老长寿药。好像每一个卖蛇油的推销员和吹牛者都想登上白藜芦醇这辆乐队花车。

（我有机会在瓜伦特的实验室采访了这位触发了这场媒体轰动的人。他在说话时很小心，他认识到他的试验结果可能产生的媒体影响和可能产生的错误概念。特别是，他很气愤有太多的因特网站点把白藜芦醇说成是某种类型的青春之源。他说，令人震惊的是，人们都试图把钱花在突然获得名誉的白藜芦醇上，而大部分结果仍是试验性的。然而，他不会排除这种可能性，有一天如果青春之源终于发现的话，假定它确实存在的话，那么SIR2基因可能起一部分作用。事实上，他的同事辛克莱尔承认他每天吃大量的白藜芦醇。）

科学团体对衰老研究的兴趣是如此强烈，于是哈佛医学院在2009年发起了一次会议，吸引了这个领域的某些主要研究人员。在大厅里有很多人是亲自忍受着热量限制的。这些人看上去憔悴和虚弱，他们通过节制膳食要把他们的科学哲学付诸试验。这里还有“120”俱乐部，他们打算活到120岁。特别的是，兴趣都集中在大卫·辛克莱尔（David Sinclair）和克里斯托夫·韦斯特法尔（Christoph Westphal）共同发现的抗衰老蛋白酶（sirtris）医药品上。现在他们已经对他们的一些白藜芦醇代用品进行临床试验。韦斯特法尔坦率地说：“在5年、6年或7年，将会有延长寿命的药物出现。”

几年前甚至还不存在的化学药品成为目前强烈关注的题目，这些化学药品正在进行试验。正在试验的SRT501（白藜芦醇复合制剂）是针对多种骨髓瘤和结肠癌的。正在试验的SRT2104（特异性化合药物）是针对2型糖尿病的。不仅是抗衰老蛋白酶（sirtuins），还有很多其他的基因、蛋白质和化学药品〔如类胰岛素一号增长因子（IGF-1）、雷帕霉素靶药（TOR）、雷帕霉素（rapamycin）〕正由各个小组在进行密切的分析。

只有时间才能告诉我们这些临床试验是不是将会成功。说到衰老过程，医药的历史仍然是一个不解之谜，充满了诡计、欺骗和假货。但科学不是迷信，是建筑在可重复的、可检验的和可靠的数据基础上的。国

家衰老研究所设置了测试各种物质对衰老影响的程序，我们将注意这些对动物的迷人研究是不是能过渡到人的身上。



我们不得不死吗？

威廉·哈塞尔廷（William Haseltine）是生物技术的先驱，他曾经告诉我："生命的性质不是死亡。它是不朽的。DNA是不朽的分子。这个分子最早出现在35亿年前。这个完全相同的分子通过复制，今天遍布了全世界……确实我们会逐渐衰老，但是在将来我们有能力改变它。首先将我们的寿命延长2倍或3倍。也许，如果我们清楚地了解了大脑，就有可能无限延长我们的身体和大脑。我不认为这是非自然的过程。"

进化生物学家指出，进化的压力是放在处于生殖年龄的动物的身上。当一个动物过了它的生殖期，事实上它就可能成了种群的负担，因此也许进化已编制了程序在老年时就要死亡。因此，也许我们是被编制了程序注定要死的。但也许我们自己能重新编制程序活得更长。

实际上，我们看哺乳动物，例如，我们发现哺乳动物越大，它们的新陈代谢越低，寿命越长。例如，老鼠为了增加体重用掉大量的食物，所以寿命只有大约4年。大象的新陈代谢要低得多，所以寿命70年。如果新陈代谢相应于错误的积累，那么这就显然符合新陈代谢率低寿命就长的概念。（这也许解释了"蜡烛烧两头就烧得快"这种说法。我曾经读过一个关于一个妖怪的故事。这个妖怪答应许以一个人所想要的任何愿望。这个人立刻说他要活到1000年。这个妖怪答应了他的要求，把他变成了一棵树。）

进化生物学家试图用寿命长短怎样帮助一个种类的生物在荒野中生存来解释寿命长短。对他们来说，一个特定的生命跨度是遗传确定的，因为它帮助这个种类的生物生存和繁荣。用这种观点，老鼠寿命如此短是因为它们经常被各种食肉动物捕猎，在冬天常常被冻死。将基因传给下一代的老鼠是后代最多的老鼠，而不是活得长的老鼠。（如果这个理论是正确的，那么我们就可以预计能想办法逃过食肉动物的老鼠会活得更长。的确，蝙蝠的大小和老鼠差不多，它的寿命比老鼠长3.5倍。）

但爬行动物是个例外。显然，某些爬行动物不知道寿命有多长。它们也许永远活着。美洲鳄鱼和普通鳄鱼只是变得越来越大，但好像永远健壮和精力充沛。（教科书通常说美洲鳄鱼的寿命只有70年。其他教科

书要更诚实一些，只是说它们的寿命大于70年，但从没有在实验室条件下仔细测量过。）在现实中，这些动物不是不朽的，因为它们会死于事故、饥饿和疾病等。但是如果留在动物园里，它们的寿命将非常长，看上去几乎是永远活的。



生物钟

另一个迷人的线索来自一个细胞的端粒（telomeres），它的作用像“生物钟”。端粒像鞋带端部的塑料头，位于染色体的端部。在每一个繁殖周期之后，端粒变得越来越短。最终，在繁殖6次左右（对于皮肤细胞）后端粒拆散。然后这个细胞进入衰老期，停止正常工作。因此，端粒就像炸药包棍子上的导火索。如果在每次繁殖后导火索变短，最终，导火索消失，细胞停止繁殖。

这个过程被称为海弗利克极限（Hayflick limit），它似乎为某一类细胞的生命周期设置了一个上限。例如，癌细胞没有海弗利克极限，它产生一个叫做调聚物酶（telomerase，亦称端粒酶），阻止端粒变得越来越短。

调聚物酶可以合成。将它们用在皮肤细胞上时，很显然它们可以无限繁殖，而成为不死的。

然而，这里有个危险。癌细胞也是不死的，在肿瘤中无限制地分裂。事实上，这就是为什么癌细胞如此致命，因为它无限制地繁殖，直到身体不再能够工作。因此，调聚物酶必须要仔细地分析。任何利用调聚物酶重新绕紧生物钟的治疗必须检验，确保它不引起癌。



长寿和年轻

延长人的寿命的前景使一些人高兴，也使另一些人恐惧，因为我们

看到人口爆炸和人类进入老年社会将使国家破产。

生物技术、机械技术和纳米技术合起来治疗不仅可以延长生命，而且也在这个过程中保持青春。罗伯特· A.弗雷塔斯（Robert A.Freitas Jr）将纳米技术用于治疗，他说：“在几十年后，这样的治疗将成为普通的事情。每年检查和清洗一次，偶尔做一次重大修复，你的生物学年龄可以每年恢复一次，使你的生理学年龄保持在你选择的年龄，基本上保持不变。你也许最终会死于意外的原因，但是你的寿命至少比现在长10倍。”

在将来，延长寿命不是喝寓言中的青春泉的问题。更可能的是下面几种方法的组合：

1. 当一个器官磨损后，通过器官工程和干细胞生长一个新器官。
2. 喝蛋白质和酶的鸡尾酒。这些蛋白质和酶是设计用来增加细胞修复机制、调节新陈代谢、设置生物钟和减少氧化的。
3. 利用基因治疗改变可以减缓衰老过程的基因。
4. 维持健康的生活方式（锻炼和良好膳食）。
5. 利用纳米传感器检测像癌这样的疾病，在出现问题若干年前查出问题。



人口、食物和污染

但是一个让人不安的问题是：人的寿命增加了，人口过剩怎么办？没有人知道。

延缓衰老过程会带来一系列社会问题。如果我们活得长了，地球上的人口不就太多了吗？但是有人指出，大批人的寿命延长已经发生了，仅仅在一个世纪里人的寿命预期已从45岁提升到70岁到80岁。但并没有产生人口爆炸，可以证明其作用相反。因为人活得更长，他们从事工作，延迟孩子的出生。事实上，欧洲的本土人口实际上显著地减少了。因此，如果人的寿命更长，生活更幸福，他们会将孩子出生的间距相应拉大，并少生几个。由于要生活更长的岁月，人们将相应地重新安排他们的时间框架，因此会拉开和延缓孩子的出生。

另外一些人认为，人们将拒绝这个技术，因为它是不自然的，也许是违背他们的宗教信仰的。的确，公众的非正式的民意测验表明，大多

数人认为死亡是很自然的，有助于赋予生活的意义。（然而，在这些民意测验中采访的人大多数是年轻人和中年人。如果你去敬老院看看那些消磨时光、生活在不停的痛苦之中和等待死亡的人，并问同样的问题，你可能得到完全不同的答案。）

正如加州大学洛杉矶分校的格雷格·斯托克（Greg Stock）所说：“逐渐地，我们的违背上帝的苦恼和我们对长寿的担心都会让位给一个声音：‘什么时候我能得到药丸？’”

在2002年，根据最好的人口统计学数字，科学家估计今天仍然活在地球上的人类是在地球上曾经生活过的所有人类的6%。这是因为在人类历史的大部分时期里，人口是在100万上下徘徊。寻找贫瘠的粗劣的食物供给使人口保持在低水平。即便是在罗马帝国最昌盛的时期，它的人口估计只有5500万。

但是在过去300年，世界人口急剧上升，这与现代医学的出现和工业革命提供了丰富的食物供给有关。就在20世纪，世界人口攀升到新的高度，从1950年到1992年翻了一番还多，从25亿到55亿。现在的数字是67亿。每一年有7900万人加入人类的行列，超过了法国的总人口。

结果，出现很多世界末日预言，然而到目前为止，人类有能力躲过这个命运。回到1798年，托马斯·马尔萨斯（Thomas Malthus）警告我们，当人口超过了食物供给就会发生这种情况。饥荒、食品短缺、政府崩溃和大众饥饿将会发生，直至达到人口和资源的新的平衡点。因为食物供给随着时间是线性增长的，人口是指数增长的，好像不可避免的，在某一个时刻世界会遇到破坏点。马尔萨斯预计大众饥荒将在19世纪中期发生。

但是在19世纪，世界人口只是处在大增长的早期阶段，因为新大陆的发现、殖民地的建立、食物供给的增加，马尔萨斯预测的灾难没有发生。

在20世纪60年代，另一个马尔萨斯主义者做了一个预计，人口炸弹将很快在地球爆炸，到2000年全球崩溃。这个预计又错了，绿色革命成功地扩大了食品供应。数据表明食品供应速度的增加超过世界人口增长，从而暂时击败了马尔萨斯的逻辑。从1950年到1984年，粮食产量的增加超过250%，主要是由于新的肥料和新的耕作技术。

我们又一次躲避了这个灾难。但是现在人口膨胀正在全力进行中，有人说我们正接近地球所能创造的食物供应能力的极限。

不祥的是，食物产量，无论是世界的粮食产量还是海洋的食物供应，已开始达到最大能力。英国首席科学家警告到2030年人口爆炸的大风暴和食品能源短缺将要来临。联合国食品和农业组织说，到2050年世界需要再多生产70%的食品供给额外的23亿人，否则就将面临灾害。

这些预测有可能低估了问题的严重性。由于几亿中国和印度人进入了中产阶级，他们也想享受在好莱坞电影中看到的奢侈，如两辆汽车、宽敞的乡间别墅、汉堡包和法国油炸食物等，这将造成世界资源的紧张。莱斯特·布朗（Lester Brown）是世界最主要的环境保护主义者和华盛顿世界瞭望研究所的奠基人，他告诉我：世界也许处理不了向几亿人提供中产阶级生活所造成的紧张。



世界人口的一些希望

然而，这里有一些希望之光。控制生育曾经是一个禁忌的题目，在发达国家得到抑止，而在发展中国家正取得显著进展。

在欧洲和日本，我们看到的是人口锐减，而不是人口爆炸。在某些欧洲国家出生率低到每个家庭1.2到1.4个孩子，远远低于替代率2.1。日本正面临三个难题。第一，它有地球上衰老最快的人口。例如，日本妇女保持了20多年具有最长寿命预期的纪录。第二，日本的出生率下降。第三，日本政府将外来移民保持得极低。这三个人口统计学的因素正产生一辆在缓慢运动中破坏的列车。欧洲则紧随其后。

这里有一个教训，世界上的最好的避孕用具是繁荣。在过去农民没有退休计划或社会保险，他们想要尽可能多的孩子在田间劳作，到了老年照顾他们。简单计算一下，家庭里每多一个孩子就意味着多一双手劳动，意味着更多的收入，在老年时有更多的人照顾。但是当农民进入中产阶级后，有了退休福利和舒适的生活，计算就翻了个个儿，每多一个孩子将减少收入和降低生活质量。

在第三世界，问题则相反，人口快速膨胀，大多数人口的年龄在20岁以下。即便是在人口膨胀预计最大的地方，在亚洲和非洲撒哈拉沙漠南部，出生率由于以下几个原因也下降了。

第一，农民人口快速城市化，因为农民离开他们祖先的土地到大城市试试他们的运气。在1800年仅有3%的人口居住在城市，到20世纪末这个数字上升到47%，预计未来的几十年还要上升。在城市里养育一个孩子的费用显著地降低了一个家庭中孩子的数量。由于房租、食物和花费是如此之高，在大城市贫民窟里的工人进行同样的计算，得出结论，多一个孩子就减少他们的财富。

第二，随着国家的工业化，如中国和印度，就会像工业化的西方一

样，产生想少要孩子的中产阶级。

第三，妇女的教育，即使在孟加拉国这样的穷困国家，也会产生想少要孩子的妇女阶层。由于广泛的教育计划，尽管孟加拉国没有大规模城市化和工业化，它的出生率从7降到2.7。

由于所有这些因素，联合国不断修改它的将来人口增长的数字。估计仍然会有变化，但是世界人口到2040年可能达到90亿。尽管人口将继续增加，生长率将最终减缓和持平。乐观估计，到2100年可能稳定在110亿左右。

通常，人们会认为这将超出地球的承载能力。但是它取决于如何定义承载能力，因为也许又有另一次绿色革命在酝酿之中。

所有这些问题的一个解决方案是生物技术。在欧洲，生物工程食品所获得的坏名声可能要持续整个一代人。生物技术工业同时销售给农民除草剂和抗除草剂的农作物。对生物技术工业来说，这意味着销售更多，但对消费者来说，这意味着他们的食品中毒素更多，这个市场将很快破灭。

然而，在将来，像“超级稻”这样的谷物可能进入市场，也就是说，用工程方法培育的作物可以在干燥的、恶劣的和贫瘠的环境中生长。从道义上讲，很难反对引进这样的作物，它们是安全的，能够喂养几亿人口。



复兴灭绝的生命形式

但是其他的科学家不仅想要延长人的寿命和逃脱死亡。他们还想复兴灭绝的生物。

在电影《侏罗纪公园》（*Jurassic Park*）中，科学家从恐龙身上提取DNA，植入爬虫类的卵，让恐龙复活。尽管到目前为止还没有发现可用的恐龙的DNA，但是已经有了令人迫切向往的线索，这个梦想不是完全可望而不可即的。到本世纪末，动物园里可能会有几千年前就在地球上灭绝的生物。

正如前面提到的，罗伯特·兰札（Robert Lanza）迈开了重要的一步，他克隆了白臀野牛，一种濒临灭绝的动物。他感到如果让这个稀有

的牛死掉将是一个耻辱。因此他考虑另一种可能性：产生一个新的克隆动物，但性别是相反的。哺乳类动物的性别是由X和Y染色体确定的。他相信通过融补（tinkering）这些染色体可以从这条牛克隆另一个动物，只是性别不同。用这种方法，全世界的动物园可以高兴地看到这个早已死去的动物物种有了婴儿。

我曾经和牛津大学的理查德·道金斯（Richard Dawkins）共进午餐，他是《自私的基因》（*The Selfish Gene*）的作者，他又向前迈进了一步。他推测，终有一天我们也许能够复兴各种生命形式，不仅是濒临灭绝的，而且是早已灭绝的。他首先注意到，每27个月，已经排序过的基因的数目就翻一番。然后他计算在未来的几十年将只需花160美元就能对任何一种生物的基因组完全排序。他想象有这么一天，生物学家将带着一个小工具箱，然后，只需几分钟时间对他碰到的任何形式的生命的整个基因组排序。

但是他又进一步分析说，到2050年我们将能仅从一个生物的基因组就能重建整个生物。他写道：“我相信到2050年我们将能够读懂生命的语言。我们将把未知动物的基因组送入计算机，它不仅将重新构造这个动物的形式，还有它的祖先生活的详细世界，包括捕食它们的动物或它们捕食的动物、寄生虫或它寄生的动物、做窝的地点，甚至希望和恐惧。”他引证西德尼·布伦纳（Sydney Brenner）的著作，相信我们能够重新构造在人类和猿类之间“丢失环节”的基因组。

这将是一个货真价实的惊人的突破。从化石和DNA证据判断，我们和猿类相距600万年。

因为我们的DNA与黑猩猩仅差1.5%，在将来，计算机程序将能分析我们的DNA和黑猩猩的DNA，然后用数学方法创造近似我们共同祖先的DNA。一旦重新构造了假想的我们共同祖先的基因组，计算机程序将直观显示它长得什么样子，以及它的特征。他把这个研究叫做“露西基因组项目”（Lucy Genome Project），根据著名的“南方古猿”（*Australopithecus*）的化石命名。

他甚至分析到，一旦通过计算机程序在数学上重新创造了丢失环节的基因组，就有可能实际产生这个生物的DNA，把它植入一个人类的卵，再将这个卵植入一个妇女，就将生出我们的祖先。

尽管这种假象在几年前还被看做是谬论，但是若干进展说明，它并不是可望而不可即的梦想。

首先，正在详细分析一些关键的区分人类与黑猩猩的基因。一个值得注意的候选基因是ASPM基因，它与控制大脑的尺寸大小有关。在几百万年前，由于不知道的原因大脑的尺寸增加了。当这个基因变异时，它会引起头的畸形，造成头骨小，大脑缩减70%，大约与几百万年前我们古代祖先的大脑一样。有意思的是，可以用计算机分析这个基因的历

史。分析表明自从我们与黑猩猩分开之后，它在过去500万年到600万年的时间中，变异了15次，这与我们大脑尺寸的增加吻合。让我们好奇的是，与我们的灵长类的堂兄堂妹相比，人类的这个关键基因经历了迅速的变化。

更有兴趣的是这个基因的HAR1区域，它只含有118个字母。在2004年发现在这个区域黑猩猩和人的重要差别仅18个字母，或18个核酸。黑猩猩和鸡在3000万年前分离，然而在HAR1这个区域它们的碱基对（base pairs）仅差两个字母。这意味着在整个演化的历史中，直到人类出现之前，HAR1区域是相当稳定的。因此，也许使我们成为人类的基因就包含在这里。

但是还有一个更惊人的进展使得道金斯（Dawkins）的建议看来是可行的。现在已经对与我们最亲近的遗传邻居，早已消失的洞穴人的完整基因组进行排序。也许比较分析人、黑猩猩和洞穴人的基因组，就可以利用纯粹的数学重新构造丢失环节的基因组。



复兴洞穴人？

人和洞穴人大约是在30万年前分离的。但是这些洞穴人是在3万年前在欧洲灭绝的。因此，人们早已认为不可能从早已死去的洞穴人提取有用的DNA。

但是在2009年，莱比锡的麦克斯·普朗克进化人类学研究所的斯万特·帕博（Svante　Pääbo）领导的团队分析了6位洞穴人的DNA，得出了第一稿完整的洞穴人的基因组。这是一个里程碑的成就。正如我们所期待的，洞穴人的基因组与人的基因组非常相似，都含有30亿个碱基对（base pairs），但是在关键方面也有差别。

斯坦福人类学家理查德·克莱因（Richard　Klein）评论帕博和他同事的这项工作说，这个洞穴人基因组的重新构造也许可以回答长期未能解决的有关洞穴人行为的问题，例如它们是不是能说话。人在FOXP2（人类语言基因）区有两个特别的改变，这个基因部分地使我们能说几千个单词。仔细分析表明，洞穴人在它的FOXP2基因上也有同样的两个遗传改变。因此，可以想象洞穴人也许能够像我们一样发音。

因为洞穴人是我们的最近的遗传近亲，所以成为很多科学家感兴趣的课题。有些人提出了这种可能性，总有一天我们会重新构造洞穴人的

DNA，把它植入一个卵，有一天它也许会变成活的洞穴人。然后，在几千年后，有一天这个洞穴人会在地球表面行走。

哈佛医学院的乔治·丘奇（George Church）甚至估计只需要3000万美元就能复活洞穴人，并且制定了实现它的计划。首先将整个人的基因组分成块，每块1万个DNA碱基对。将每一块植入一个细菌里，然后经过遗传改变使人的基因组与洞穴人的基因组配对。再将这些改变后的所有DNA块重新集合为完整的洞穴人的DNA。然后将这个细胞重新编制程序使它回复到胚胎状态，并植入一个母猩猩的子宫。

然而，斯坦福大学的克莱因（klein）提出一些合理的要人们关注的问题，他问：“你要把它放在哈佛大学还是动物园呢？”

所有这些复兴另一个早已灭绝的物种（如洞穴人）的议论“将无疑地产生伦理的担忧”，道金斯（Dawkins）警告说。洞穴人将有权利吗？如果男性和女性洞穴人想成为配偶会发生什么？如果它们受到伤害或伤害别人谁来负责？

因此，如果洞穴人能够复兴回到生活，科学家最终能为早已灭绝的动物，如猛犸象建一个动物园吗？



复兴猛犸象？

这个想法并不像听起来那样疯狂。科学家已经能够对灭绝的西伯利亚猛犸象的大部分基因组排序。以前只有一小段DNA从几万年前在西伯利亚冻死的多毛的猛犸象身上提取出来。宾夕法尼亚州立大学的韦伯·米勒（Webb Miller）和斯蒂芬· C.舒斯特（Stephan C.Schuster）做了不可能的事情：他们从冻死的猛犸象尸体上提取了30亿个碱基对的DNA。以前，灭绝生物DNA排序的纪录仅为1300万个碱基对，低于动物基因组的1%。（这个突破之所以成为可能是靠一种新的排序机，叫做高产排序机，允许一次扫描几千个基因，而不是一次一个。）另一个窍门是知道在哪儿找古代的DNA。米勒和舒斯特发现多毛猛犸象的毛囊，而不是它的身体，含有最好的DNA。

复兴灭绝动物的想法现在在生物学上是可能的了。“一年前，我也许会说这是一个科幻。”舒斯特说。但是现在，有了如此众多的已经排序的猛犸象基因组，这不再成为问题。他甚至勾画了应该怎样实现它。他估计只要改变亚洲大象DNA中的40万个碱基对就能创造一个动物，使它的

基本特征与多毛的猛犸象相同。有可能遗传改变大象的DNA使它适应这种变化，将这个变化的DNA植入大象卵的核中，然后将这个卵植入母象。

这个团队已经开始注意对另一个灭绝动物袋狼的DNA排序，这是一种澳大利亚的有袋动物，是1936年灭绝的塔斯马尼亚魔鬼（Tasmanian devil）的近亲。还有人谈到给古代巨鸟渡渡鸟排序。“死了变作渡渡鸟”是一种通常的说法，但是如果科学家能够从牛津和别处存放的渡渡鸟尸体的软组织和骨头上提取有用的DNA的话，这句话就可能不流行了。



侏罗纪公园？

这自然又导致了原来的问题：我们能够复兴恐龙吗？一句话，也许不可能。一个侏罗纪公园的建立取决于是否能够找回在6500多万年前死去的生命形式的完整无缺的DNA，这也许是不可能的。尽管在恐龙化石的大腿骨内侧发现了软组织，到目前为止没有用这种方法提取出DNA，而只有蛋白质。尽管这些蛋白质已经在化学上证明雷克斯暴龙和蛙、鸡之间有密切关系，但离收回恐龙的基因组还有很远的距离。

然而道金斯坚持这种可能性，用遗传方法比较各种鸟类和爬行类的基因组，然后用数学方法重新构造“广义的恐龙”的DNA次序。他注解说，有可能诱导鸡喙长出牙根（和诱导蛇长出脚）。因此，早就消失在时间流沙中的古代的特征有可能逗留在基因组内。

这是因为生物学家现在认识到基因可以打开，也可以关闭。这意味着古代特征的基因也许仍然存在，只是处于睡眠状态。通过打开这些长期睡眠的基因，也许能够找回这些古代的特点。

例如在远古时代，鸡的脚曾经有蹼。与蹼有关的基因没有消失，只是关闭了。打开这个基因，在原则上就能产生有蹼脚的鸡。类似地，人曾经身上有毛。然而，当我们开始出汗，以便有效调节身体的体温时，我们失去了毛。（狗没有汗腺，只有靠喘气来降温。）与人毛有关的基因显然仍然存在，只是关闭了。但是，打开这个基因，也许能有全身是毛的人。（有人推测这也许是出现狼人传说中的狼人的原因。）

如果我们假定恐龙的一些基因实际上关闭了几百万年，但仍幸存在鸟的基因组里，那么也许可能恢复这些长期睡眠的基因的活动，并在鸟的身上诱导恐龙的特征。这样，道金斯的建议虽然是推测的，但并不是

无稽之谈。



产生新的生命形式

这就产生了最后一个问题：我们能根据我们的愿望创造生命吗？有可能不只是产生一个早已灭绝的动物，也能产生一个从未存在过的动物吗？例如，我们能够制造一个有翅膀的猪或在古代神话中描写的动物吗？即使到本世纪末，科学将不能创造订购的动物。然而，科学在经过一条漫长的路程后将能够修改动物王国。

到目前为止，我们的能力有限，还不能随意摆弄基因。只有单个基因可以可靠地修改。例如，有可能发现一个使某些动物在黑暗中发光的基因。可以提取这个基因放到其他动物上，使这些动物也在黑暗中发光。实际上，当前正在进行研究，是不是家庭宠物可以通过增加单个基因修改。

但是创造一个全新的动物，如希腊神话中的狮头羊身蛇尾妖怪（3种不同种类动物的组合），要求调换几千个基因。为了创造一头有翅膀的猪，必须移动几百个代表翅膀的基因，还要确保所有的肌肉和血管适当匹配。这是远远超过今天能做的事情。

然而，已经取得的进展将会推动在将来实现这个可能性。生物学家吃惊地发现，描述身体布局的基因反映了在染色体中它们出现的次序。这些基因叫做HOX基因（同源盒基因），这些基因描述了身体是怎样构造的。显然，自然取了一个捷径，用染色体中它们自己发现的次序去反映身体器官的次序。这又接下来极大地加速了解密这些基因进化历史的过程。

此外，还有显性控制很多其他基因的主控基因。只要掌握少数这些主控基因，就能掌握几十个其他基因的性质。

回顾一下，我们就能看到大自然母亲决定创造身体的布局就像建筑师设计蓝图一样。蓝图的几何布局的次序和建筑物的实际布局相同。此外，蓝图是模块式的，因此在一个主蓝图中包含了子蓝图块。

除了利用基因组的模块性创造整个新的杂交的动物之外，还有可能应用遗传学，利用生物技术找回历史人物。兰札相信，只要能从早已死去的人身上提取完整无缺的细胞，就有可能让这个人复活。在威斯敏斯

特修道院（Westminster　Abbey）仔细保存着早已死去的国王和王后，以及诗人、宗教人物、政治家，甚至像艾萨克·牛顿这样的科学家。有一天，兰札向我透露，有可能在他们的身体里发现完整无缺的DNA，让他们回到生活中。

在电影《巴西孩子》（*The Boys from Brazil*）中，有一个阴谋计划要让希特勒复活。然而不会有人相信有人能够复活这些历史人物中的任何一位天才或恶魔。正如一位生物学家说的，如果你让希特勒复活，也许你所能得到的只是一个二流的艺术家（在希特勒领导纳粹运动之前，他是一个二流艺术家）。



治愈所有疾病？

预言影片《必有后福》（*Tings　to　Come*）是根据H．G.威尔斯（H.G.Wells）写的小说，它预计在第二次世界大战造成了无穷的苦难，最终人类的所有成就都化为乌有，一小撮军阀统治着破产和贫穷的人民之后将来的文明。在影片的末尾，一组有远见的科学家，利用超级武器开始恢复秩序。文明最终从废墟之中兴起。在一个场景下，一个女孩子在学习20世纪的残酷的历史，并学习某种叫做感冒的事情。她问，什么是感冒？有人告诉她感冒是很久以前就治好的病。

也许不。

治疗所有疾病是我们最古老的目标之一。但是即便到了2100年，科学家也不能治疗所有疾病，因为疾病变化比我们治愈它们还快，并且疾病的种类太多了。我们有时忘了我们是生活在细菌和病毒的海洋中，它们在人类出现之前的几十亿年前就存在了，并且在现代人类消亡之后，它们还要存在几十亿年。

很多疾病源来自动物。这是我们大约1万年前开始饲养动物所付出的代价。因此在动物身上潜藏着疾病的巨大源泉，它们很可能比人类活得还要长。通常这些疾病只感染一小部分人。但是随着大城市的出现，这些会感染的疾病迅速散布到大量的人群中，达到危机的程度，并在全国流行。

例如，当科学家分析流感病毒的遗传次序时，他们吃惊地发现它的来源：鸟。很多鸟可以携带各种流感病毒而不受感染。但是当猪吃了鸟的排泄物后，它就成了遗传的混合器。然后，农夫通常生活离鸟和猪都

近。这就是为什么有人推测流感病毒通常来自亚洲，因为在这里农夫经营农场和从事畜牧，也就是生活在与鸭子和猪都接近的地方。

最近的H1N1流感病只是鸟流感和猪流感变异最新的发作。

一个问题是人类不断地开拓新的环境，砍伐森林、建设郊区和工厂，并且在这个过程中遇到在动物中潜藏的古代的疾病。因为人类的人口在不断增长，这意味着我们将发现更多的惊奇来自森林。

例如，有相当多的遗传证据证明，艾滋病毒（HIV）开始时是猿的免疫缺陷病毒（SIV），原来感染猴子，后来跳到人的身上。类似地，汉坦病毒（hantavirus）感染（美国）西南部的人，因为他们蚕食草原牧场啮齿动物的领地。主要由蜱虫散布的莱姆关节炎（lymedisease）疾病现在侵入了（美国）西北部的郊区，因为人们现在靠近蜱虫生活的地方建房屋。埃博拉病毒（Ebola　virus）大概影响偏远古老部落的人，只是因为喷气式飞机的出现才把它散布到全世界，成为头版头条新闻。甚至美国退伍军人的疾病大概是一种古代的疾病，是一种在不流动的水中产生的病毒，但是它在空调设备中繁殖，才把这种疾病散布到巡游船只中的中老年身上。

这意味着将会有许多的惊奇出现，新的奇怪疾病的爆发将会成为将来的重要新闻。

不幸的是，治疗这些疾病的方法将会姗姗来迟。

例如，就是现在的普通感冒也治不好。在任何药店都有很多的治疗感冒的药品，但它们只是治表，而不是杀死病毒本身。问题是大概有300多种鼻病毒的变种引起普通感冒，要生产一种能治疗所有300种病毒的疫苗谈何容易。

艾滋病毒（HIV）的情况就更糟，因为可能有几千种不同的病毒菌株。事实上，艾滋病毒的变异是如此之快，即便研制了一种病毒的疫苗，这个病毒很快又变了。而设计一种疫苗就像试图击中一个移动目标一样。

因此，当我们在将来医治很多疾病时，大概总会有一些疾病逃过我们最先进的科学技术。



勇敢地进入新世界

到2100年，当我们已经能够控制我们的遗传命运时，我们不得不把我们的命运与奥尔德斯·赫胥黎（Aldous Huxley）所设想的社会相比较。这个社会是他在他的预言小说《勇敢的新世界》（*Brave New World*）中设定的，时间是2540年。在1932年这本书首次发表时引起了普遍的震动和惊慌。

然而75年后，他的很多预言都已过时。当他写试管婴儿，当他说娱乐和生产将会分开并且吸毒将变得平常的时候，他让英国社会感到反感。然而我们今天却生活在一个体外授精和生育控制药丸被认为是理所当然的世界中。（他作的唯一一个还未过时的主要预测是人的克隆。）他预想一个分等级的社会，在这个社会里医生故意克隆脑残人的胚胎，长大后成为统治阶层的仆人。根据智力损伤的程度从A排到E，A是智力完善注定成为统治者的人，E的智力比迟钝的奴隶略强。这样，技术不是把人从贫困、无知和疾病中解救出来，而是变成了噩梦，以奴役整个人民为代价实现人为的和不公平的稳定。

尽管这部小说在很多方面是精确的，但赫胥黎（Huxley）没有预计到遗传工程。如果他知道这个技术，那么他也许会担心另一个问题：人类这个种群会分裂成各个部分，有各种各样变幻无常的父母和不光明正大的政府干涉孩子们的基因吗？父母已经给孩子穿上怪异的服装，让他们参加各种愚蠢的竞赛，那么为什么不改变基因去迎合父母的幻想呢？的确，父母大概是一定要通过进化把他们的每一点好处都传给他们的后代，那么为什么不也篡改他们的基因呢？

作为一个会产生什么错误的基本例子，我们看超声波图（sonogram）。尽管医生引进超声波图帮助生育是无辜的，但它导致了流产女性胎儿的大流行，特别是在中国和印度。在孟买的一项研究发现，8000例流产胎儿中的7997例是女性。在韩国所有第三胎出生的孩子中65%是男孩。选择按照性别流产的父母的下一代孩子将很快到了结婚的年龄，有几百万男性将找不到女性。这将引起极大的社会混乱。只想要孩子姓他的姓的父亲将会发现没有孙子。

而在美国，人们大量地滥用人体生长激素（HGH），它常常被吹捧为能治疗衰老。原来，人体生长激素是打算用来纠正太矮的孩子的激素缺陷的。结果，人体生长激素变成了一个巨大的地下工业，而它根据的有关衰老的数据是有问题的。实际上，因特网为华而不实的治疗创造了一大群白痴。

因此，只要有机会人们常常滥用技术，产生大量伤害。如果他们掌握了基因技术又会发生什么呢？

在最坏的情况下，我们也许会有H．G.威尔斯在他的经典科幻小说《时间机器》（*The Time Machine*）里想象的噩梦，在公元802701年，人类这个种族分成了明显不同的两类。他写道：“渐渐地，我明白了真相：人类并不是一个种类，而是分成了两种明显不同的动物：我们上界

（the Upper World）的漂亮的孩子不是我们这一代人唯一的后裔，这个在我们面前闪烁的、褪色的、淫秽的夜晚出现的精灵也是全部时代的后嗣。”

要想知道有可能多少不同种族的人，只要看一下家里养的狗就知道了。尽管有几千种不同品种的狗，所有的狗都最初是从狼（*Canis Lupus*），一种在大约1万年前上一冰河时代的末期驯养的灰狼传下来的。由于它们的主人选择性的饲养，今天各种各样的狗的大小和形状都不相同。通过选择饲养，身体的形状、性情、颜色和能力全都根本改变了。

因为狗的生长大约比人快7倍，我们估计自从它们与狼分离以来，已经存在了大约1000代狗。将此应用到人类，只要7万年就可将人类分离为几千个品种，尽管他们仍是同一个种类。有了遗传工程，这个过程可以极大地加快，甚至一代人就可以实现。

幸运的是，有几个理由让我们相信人类的物种形成不会发生，至少在未来的100年不会发生。在进化中，一个单一的种类，只有在地理上隔离要分成两个种群时才会分裂。例如，在澳大利亚就出现了这种情况，很多动物种类的实际分离导致了在地球上别的地方找不到的动物的进化，如和袋鼠一样的有袋动物。但相反的是，人类的人口是高机动性的，没有进化瓶颈，并且是高度混合的。

正如加州大学洛杉矶分校的格雷戈里·斯托克说过：“传统的达尔文进化几乎不会产生人的改变，在可以预见的未来也不会有什么变化。人类的人口众多而且混杂，可供选择的地域太有限，时间也太短暂。”

此外还有来自洞穴人原理的约束。

正如前面提到的，如果技术的进步与人类过去10万年来所保持的相对稳定的自然习性相矛盾，人们通常会拒绝技术的进步（如，无纸办公室）。人们也许不想创造偏离正常和被同族认为是奇异的设计儿童。这就减小了这类设计在社会上成功的机会。给孩子穿上愚蠢的衣服是一回事，但是永久性地改变他们的遗传则完全是另一回事。（在一个自由的市场上，也许怪异的基因有一席之地，但是很小的，因为市场是由消费者需求驱动的。）更可能的是，到本世纪末会有基因库供一对夫妇选择，大部分人会选择消除了遗传疾病的基因，也有人会选遗传增强的基因。然而，很少有市场资金研究稀奇古怪的基因，因为需求实在太少。

真正的危险将主要不是来自消费者的需求，而是来自专制的政府，他们也许想利用遗传工程服务于他们自己的目的，培养更强的但更听话的战士。

在遥远的将来，当我们在其他行星有了空间殖民地，而那里的重力和气候条件与地球相差很大时，会出现另一个问题。到那个时候，也许是下一个世纪，培养能够适应不同的重力场和气候条件的一个新的人种

就可能成为现实的问题。例如，新的人类品种可以消耗不同量的氧气，适应不同长度的日照，有不同的体重和新陈代谢。但是空间旅行在很长的时间里将继续是昂贵的。在本世纪末，我们可能会在火星上建一个小型前哨基地，但绝大多数的人类仍然住留在地球上。在未来的几十年、几百年是属于宇航员、有钱人，也许还有少数勇敢的空间殖民者的。

因此，人类分成居住在太阳系周围和太阳系以外的不同的种族，在这一世纪甚至下一世纪不会发生。在可以预见的未来，除非空间技术有重大突破，我们大部分人将牢牢地被束缚在地球上。

最后，在我们迈向2100年时，我们还面临另一个威胁：这项技术也许会故意转过来，以设计细菌战的形式反对我们。



细菌战

细菌战像圣经一样古老。古代战士把有疾病的人的尸体扔过敌人的城墙，或用得了疾病的动物的尸体往敌人的井里下毒。故意把感染天花的衣服给敌人穿，又是一种消灭他们的方法。但是用现代技术，可以用遗传的方法培育细菌散布到几百万人当中。

在1972年，美国和前苏联签署了一个历史性的条约，禁止将细菌战用于进攻的目的。然而，今天生物工程技术是如此之先进，以致这个条约毫无意义。

首先，说到DNA研究，这里没有进攻技术和防卫技术之分。基因的处理既可用于防卫，也可用于进攻。

第二，有了遗传工程，就有可能创造装有细菌的导弹，而这些细菌是故意修改增加了致命力和扩散到环境中的能力的。人们曾经相信只有美国和俄罗斯存有最后的含有天花的瓶子，在人类历史上天花曾是最厉害的杀手。在1992年，一位苏联的叛逃者声称俄罗斯有装有天花的导弹，实际产量多至20吨。随着苏联的崩溃，这里有一种令人不得安宁的担心，有一天恐怖分子集团也许能花钱获得装有天花的导弹。

在2005年，生物学家成功地复活了曾经杀死了超过第一次世界大战死亡人数的西班牙流感病毒。引人注目的是，他们能够通过分析已经死去的、埋在阿拉斯加州冻土地带的一个妇女的病毒，以及从疫病流行期间美军士兵身上提取的样本复活了这个病毒。

这些科学家随后将这个病毒的全部基因组公布在环球网上。很多科学家为此感到不安，因为有一天甚至一个有权进入大学实验室的学院学生也能够复活这个在人类历史上最厉害的杀手之一。

就眼前来说，西班牙流感病毒基因组的公布，对于想解开为什么一个微小的变异就会对人造成如此普遍损伤的科学家来说，是一个幸运。答案很快找到了。西班牙流感病毒和其他病毒不一样，它引起身体免疫系统反应过度，释放大量的组织液，最终杀死患者。患者确确实实淹死在他自己的组织液中。一旦理解了这一点，引起致命影响的这个基因可以与H1N1流感病毒和其他病毒的基因相提并论。幸运的是，这些病毒中都没有这个致命的基因。此外，可以实际计算一个病毒离开获得这个令人担忧的能力有多远，并且H1N1流感病毒距离获得这个能力还有很远。

但是从长远来看，这是要付出代价的。每一年，操控获得生物体的基因变得越来越容易。造价在不断下降，在因特网上的信息到处可见。

在几个几十年之内，有些科学家相信，有可能创造一个机器，只要你输入想要的成分就能创造任何基因。输入A－T－C－G符号拼凑一个基因，这个机器就能自动切割和结合DNA创造这个基因。如果是这样的话，那么这就意味着甚至高中生有一天也能对生命形式进行高级操作。

一个噩梦是空气传播的艾滋病。例如，感冒病毒具有一些基因可以在气溶胶（和气雾剂）的小液滴中存活，因此打喷嚏可以传染他人。在目前，艾滋病毒暴露在环境中是相当脆弱的。但是如果感冒病毒基因植入到艾滋病毒中，那么可以想象它们就可能在人体外存活。这就可能引起艾滋病毒像感冒病毒一样传播，因此感染众多的人群。已经知道病毒和细菌确实能交换基因，因此也有可能艾滋病毒和感冒病毒自然地交换基因，尽管可能性不是太大。

在将来，一个恐怖分子集团或者一个国家和民族能够将艾滋病毒装在导弹上。唯一能阻止它们释放病毒的是，他们也会因病毒散布到环境中而死去。

就在“9·11”惨剧发生之后这个威胁成了现实。一个不知姓名的人邮寄装有白色粉末的，含有炭疽菌孢子的包裹给这个国家各地的要人。经过对白色粉末的仔细的微观的分析查明，此白色粉末已成为具有最大杀伤力和破坏的武器。突然之间整个国家被恐怖所笼罩，害怕恐怖分子集团已获得先进的生物武器。尽管炭疽菌是在土壤中发现的并在我们的环境中到处都有，但只有经过高级训练和具有疯狂意图的人才能提纯炭疽菌，把它做成武器和摆弄这个技艺。

即使在美国历史上最大一次搜捕之后，甚至到今天罪犯也未能找到（尽管一个主要嫌疑犯最近自杀了）。这里要说的是，即使是一个经过高级生物训练的单个的个人也能对整个国家造成恐怖。

一个能阻止细菌战的抑制因素是自我利益。在第一次世界大战期间，在战场上毒气的效果是好坏参半的。风的状况常常是不定的，因此毒气有时被风刮回到自己的军队。它的军事价值大部分在于恐吓敌人，而不是打败敌人。没有一个决定性的战役是用毒气取胜的。即使是在冷战的高峰，双方都知道毒气和生物武器对战场有不可预知的效果，很容易升级到核对抗。

正如我们所看到的，在这一章提到的所有争论涉及基因、蛋白质和分子的操控。那么自然会提出下一个问题：我们距离能够操控单个的原子还有多远？

4．纳米技术　万物从无产生？

就我所知，物理学原理并没有反对有可能一个原子一个原子地控制事物。

——诺贝尔奖得主，理查德·费曼（Richard Feynman）

纳米技术给了我们和自然界一个最终的工具箱——原子和分子的工具箱。每件事物都是由原子和分子组成的，因此创造新事物的可能性似乎是无限的。

——诺贝尔奖得主，霍斯特·斯多莫尔（Horst Stormer）

无限小的作用是无限大。

——路易斯·巴斯德（Louis Pasteur）

掌握工具是人与动物不同的最高成就。根据希腊和罗马神话，这个过程是从希腊神普罗米修斯可怜人类的困境，从火神伏尔甘（Vulcan）的熔炉中偷了珍贵的火种开始的。为了惩罚人类，宙斯设计了一个鬼把戏。他要火神用金属铸造一个盒子和一个美丽的妇女。火神创造了这个妇女的雕像，叫做潘多拉，然后用魔法让她变活，并告诉她决不要打开这个盒子。出于好奇，有一天她打开了盒子，结果所有的悲痛和苦难夹杂在风中释放到地球上，只有希望留在盒子里。

于是从火神伏尔甘的神炉中既出现了人类的梦想，也出现了人类的痛苦。今天我们正设计革命性的新机器，它是最终的工具，是用单个原子铸造的。但是它们将释放启迪和知识的火，还是混乱的风呢？

在整个人类历史上，工具的掌握决定了我们的命运。当几千年前弓和箭的发明和完善之后，这意味着射出的箭要比用手扔出去快得多，它增加了打猎的效率和增加了食物供应。在大约7000年前金属发明之后，这意味着我们可以取代茅草房，最终建起耸立在地面上的雄伟建筑。很快，用金属铸造的工具建造的帝国开始出现在森林和沙漠中。

现在我们正处在掌握另一种类型工具的边缘，这种工具比我们以前见过的任何事物都要强大得多。这一次，我们将能够掌握创造万物的原子本身。在这一世纪，我们可能具有从未想象过的最重要的工具——纳米技术，它让我们能够操纵和控制单个的原子。这将开创第二次工业革命，就像利用分子技术加工创造我们今天能够梦想的材料一样，纳米技术创造的材料是超强、超轻，具有令人惊异的电磁性能。

诺贝尔奖得主理查德·斯莫利（Richard　Smalley）说过：“纳米技术最伟大的梦想是用原子作为建筑砖块进行建造。”惠普（Hewlett-

Packard）的菲利普·库克斯（Philip Kuekes）说："最终目标不只是制造尘粒大小的计算机。我们想要的是制造细菌大小的简单的计算机。然后，像我们今天桌面上的计算机一样强大的计算机可以放到灰尘颗粒之中。"

这不只是眼望星空的幻想家的希望。美国政府严肃地看待这个问题。在2009年，由于纳米技术对医学、工业、航空、商业应用有着无穷的潜力，国家纳米研究所（NNI）用了15亿美元进行研究。政府的国家科学基金纳米技术报告说："纳米技术有潜力增强人的性能，带来材料、水、能源、食物的可持续发展，保护不受未知细菌和病毒的侵害……"

最终，世界的经济和国家的命运可能取决于此。在2020年左右或此后不久，摩尔定律将开始失灵和最终崩溃。世界经济将进入到无序状态，除非物理学家能够发现硅晶体管的替代品来装备计算机。这个问题的解决方案可能来自纳米技术。

到本世纪末，纳米技术也许能够创造一个只有上帝才能发明的机器，这个机器可以几乎从无生有地创造任何东西。



量子世界

第一位要大家关注这个物理学新领域的人是诺贝尔奖得主理查德·费曼（Richard Feynman），他提出了一个让人迷惑的简单问题：我们造的机器能有多小？这不是一个学术性问题。计算机变得越来越小，改变了工业的面貌，因此对这个问题的回答显然对社会和经济会有巨大的影响。

在1959年他向美国物理学会作了一次生动的讲演，题目是"在基础领域还有许多值得研究的课题"。费曼说："有趣的是，在原则上一个物理学家可以合成化学家写下的任何化学物质。化学家给出命令，物理学家就合成它。怎么做？把原子放到化学家所说的地方，物质就产生了。"费曼最后说，由单个原子建造的机器是可能的，新的物理定律可能会使它变得困难，但不是不可能的。

因此，世界经济和各个国家最终的命运可能取决于奇异的和违反直觉的量子理论的原则。通常人们认为在小尺度的空间中物理定律保持相同。在电影《迪斯尼乐园》（*Disney's Honey*）、《我缩成小孩》（*I Shrunk the Kids*）和《奇怪的收缩人》（*The Incredible Shrinking Man*）

中，我们没得到错误的印象，以为这些缩微小人所经历的物理定律会与我们相同。例如，在迪斯尼乐园的一个场景中，我们的缩小的英雄在暴风雨中骑在一只蚂蚁的背上。雨滴落在地上形成一个小水坑，就像在我们的世界中一样。但是在现实中，雨滴可能比蚂蚁大。因此当蚂蚁遇到一个水滴时，它看到的是一个巨大的半球水滴。半球形的水滴不会崩溃，这是因为表面张力的作用就像网一样将水滴聚合在一起。在我们的世界中，水的表面张力很小，因此我们不去注意它。但是在蚂蚁的尺度看来，表面张力则相对很大，因此雨珠变成为雨滴。

〔此外，如果你试图放大蚂蚁，让它和马一样大，就出现另一个问题：蚂蚁的腿将会折断。因为蚂蚁的尺寸增加时，它的重量增加比腿的强度增加快得多。如果蚂蚁尺寸变为10倍，它的体积和重量为$10\times10\times10=1000$倍。但它的强度是与肌肉厚度有关的，仅为$10\times10=100$倍。因此相对而言，大蚂蚁比普通蚂蚁弱10倍。这就意味着，“金刚”（King kong）不会令纽约城恐怖的，而是在它试图爬上帝国大厦时自己吓得发抖。〕

费曼注意到还有其他的力在原子尺度中起支配作用，如氢键结合力和范德瓦尔斯力（the van der Waals force），它是由原子和分子之间存在的微小电磁力引起的。物质的很多物理性质是由这些力确定的。

〔为了进行形象化的说明，考虑一个简单的问题：为什么在美国东北部的高速公路上有这么多的壶穴。每年冬天，水渗透到沥青的裂缝中，水冻结时膨胀，使沥青粉碎，形成一个壶穴。但是认为水冻结时膨胀却违背了常识。由于氢键的原因，水确实在冻结时膨胀。水分子的形状像一个“V”形，一个氧原子在底部（两个氢原子在顶部）。水分子在底部带一点负电荷，在顶部带一点正电荷。因此，在水冻结和水分子堆积时，水膨胀，形成的冰在分子之间有充分空间和有规则的点阵结构。水分子的排列像六角形。在六角形中原子之间有更多的空间，因此当水结冰时膨胀。这也是为什么雪花有6个边，为什么冰能够漂浮在水上的原因，而通常认为它应该沉下去。〕



穿墙而过

除了表面张力，氢键和范德瓦尔斯力在原子的尺度上也有奇异的量子效应。在日常生活中，通常我们看不见量子力在起作用。但是量子力无处不在。例如，因为原子内大部分是空的，所以我们有正当理由认为

我们应该能够穿墙而过。在原子中心的核和电子壳之间的空间仅仅是真空。如果原子的尺寸是足球场那么大，那么这个足球场将会是空的，因为核的尺寸大约和一个沙粒一样大。

（我们有时会用一个简单的演示让学生感到吃惊。取一个盖革氏计数器放在一个学生的前面，在他的背后放一个无害的放射性小球。这个学生就会吃惊，一些粒子恰好穿过他的身体并击发了盖革氏计数器，就好像他的身体大部分是空的一样，而他确实大部分是空的。）

但是如果我们大部分是空的，那么我们为什么不能穿墙而过呢？在电影《鬼》（*Ghost*）里，帕特里克·斯韦兹（Patrick Swayze）扮演的人被对手杀了，变成一个鬼。每一次他试图触摸由德米·穆尔（Demi Moore）扮演的前未婚妻时都失败了。他的手通过了普通的物质，他发现他已经不是实质性的物质，只是飘过了固态物体的幻影。有一次，他把他的头伸进一辆移动的地铁客车厢。这辆客车带着他伸进车厢的头跑，然而他什么也没感觉到。（影片没有解释为什么重力没拉着他穿过地板落向地心深处。显然，除了地板之外，鬼能穿过任何东西。）

那么为什么我们不能像鬼那样穿过固体呢？答案在于奇怪的量子现象。泡利（Pauli）的不相容原理（exclusion principle）说，没有两个电子能处于同样的量子状态。因此，两个几乎相同的电子靠得太近时，它们彼此排斥。这就是为什么物体看上去是固体的，这只是幻觉。真实情况是物质基本上是空的。

当我们坐在椅子上，我们认为我们和椅子是接触的。实际上，我们受到椅子的电子和量子力的排斥，飘在椅子上方，离它不到1个纳米的距离。这意味着不论我们“摸”什么东西，我们根本不是直接接触，而是被这些微小的原子力分隔开。（这也意味着，如果我们能够想方设法压制不相容原理，我们就能穿墙而过。然而，没人知道怎样做。）

量子理论不仅防止原子彼此相撞，它也将原子约束在一起形成分子。想象一下原子像一个小太阳系，有若干行星围绕太阳旋转。现在，如果两个这样的太阳系碰撞，那么这些行星或者彼此相撞成一体，或者四面飞出，引起太阳系崩溃。当一个太阳系和另一个太阳系碰撞时，它决不是稳定的，因此有理由认为当一个原子和另一个原子碰撞时，它应当崩溃。

实际情况是，当两个原子离得很近时，它们或者彼此弹开，或者结合形成稳定的分子。原子能够形成稳定分子的原因是电子能在两个原子之间共享。在两个原子之间共享一个电子的想法按常理是荒谬的。如果电子服从通常的牛顿定律的话，这种情况是不可能发生的。但是因为海森堡的测不准原理（uncertainty principle）说不可能精确知道电子在哪儿，而是在两个原子之间跳荡，因此就把两个原子拴在一起。

换句话说，如果没有量子理论，那么分子就会散开，彼此碰撞，溶

解成气体粒子。因此量子理论解释了为什么原子能够结合形成固体物质，而不是分解。（欲详解量子，请阅读《量子理论》，中文版本社已出版）

〔这也是为什么不能在一个世界中还有另一个世界的原因。有些人想象我们的太阳系或银河系也许是一个别的巨大宇宙中的一个原子。实际上，这是在《黑衣人》（*Men in Black*）影片中的最后一幕，在影片中整个已知的宇宙事实上只是某些外星人球赛中的一个原子。但是，根据物理学这是不可能的，因为从一个尺度到另一个尺度，物理学定律是变化的。控制原子的规律与控制星系的规律是完全不同的。〕

一些难以理解的量子理论原理是：

- 不可能知道任何粒子的精确速度和位置——测不准（或不确定性）总是存在。
- 粒子在某种意义上可以同时存在于两个位置。
- 所有粒子的存在是同时存在的不同状态的混合。例如，自旋粒子可以是旋转轴同时向上和向下的混合。
- 你可以消失并重新出现在别的地方。

所有这些叙述听起来很荒谬。事实上，爱因斯坦曾说过："量子理论越成功，它看上去越愚蠢。"没有人知道这些奇异的定律来自何处。它们只是假定，没有解释。量子理论只有一件事情是清楚的：它是正确的。它的精确度测量达到了一百亿分之一，使它成为所有时代最成功的物理理论。

我们在日常生活中看不到这些难以置信的现象的原因，是因为我们是由万亿万亿个原子组成的，在某种意义上，这些效应被平均化掉了。



移动单个原子

理查德·费曼梦想有一天，物理学家能够一个原子一个原子地加工分子。在1959年那时这似乎是不可能的，但是今天已部分成为现实。

当我访问位于加利福尼亚圣何塞（San Jose）的IBM阿尔马登（Almaden）研究中心时，我有机会见证了这个现实。我看到了一个不平常的仪器，扫描隧道显微镜，它使科学家能够看到和操作单个原子。

这个设备是IBM的格尔德·宾尼格（Gerd　　Binnig）和海因里希·罗勒尔（Heinrich Rohrer）发明的，为此他们获得了1986年的诺贝尔奖。（我记得，当我还是一个孩子的时候，我的老师告诉我们决不能看到原子。他说，原子太小了。在此之前我已决定成为一个原子科学家。我认识到我将花费毕生的精力研究我决不能直接看到的某种东西。但是今天，我们不仅能看到原子，还能用原子镊子摆弄原子。）

扫描隧道显微镜实际上根本不是显微镜。它像一架老式的留声机。一个细针（其针尖只有一个原子直径那么大）慢慢划过要分析的材料。一个小的电流从针尖通过材料传到仪器的底部。当针尖划过物体时，每当它划过一个原子，电流就稍稍改变。在多次划过之后，这个机器就打印出原子本身的极好的令人吃惊的轮廓。利用同样的针，这个显微镜就能不只是记录这些原子，也能到处移动它们。用这种方法，我们可以拼出字母，如大写的“IBM”，实际上即使是这些科学家设计的原始机器也是由原子构造的。（另一项近来的发明是原子力显微镜，它能给我们原子排列的极好的3D图像。原子力显微镜也使用针头很小的针，但它将一束激光照射在针头上。当针划过研究的材料时，针轻微摇动，这个运动被激光束图像记录下来。）

我发现到处移动单个原子是很简单的。我坐在计算机屏幕前，看到一系列的白球，每个白球像直径大约1英寸的乒乓球那样大。实际上，每个球是一个单个的原子。我把光标放在一个原子上，然后移动光标到另一个位置。我按一个按键，它随后激活这个针去移动这个原子。显微镜对物质重新扫描。屏幕变了，显示这个球精确地移动到我想要的位置。

整个过程只花了1分钟，我就把每个原子移动到我想要的位置。事实上，我发现在大约30分钟的时间内，我就可以在屏幕上实际拼出某些由单个原子组成的字母。在1个小时内，我可以做出相当复杂的模式，涉及到10个左右的原子。

我不得不从我实际移动了原子的震惊中恢复过来，这是人们曾经认为是不可能的事情。



微型机电系统和纳米粒子

尽管纳米技术还处在幼年时期，它已经应用在急速发展的化学涂层

商业工业上。将只有几个分子厚的小薄层化学制品喷在商业产品的表面上，就可以使它更耐锈或改变它的光学性质。今天其他的商业应用有抗污染的衣服、增强的计算机屏幕、更强的金属切割工具和抗划伤的涂层。在未来的岁月里，有越来越多的通过微涂层改进性能的新颖的商业产品将上市。

对于大部分的研究来说，纳米技术仍然是非常年轻的科学。但是纳米技术的一个方面已经开始影响每一个人的生活，它已经发展成一个有益的400亿美元的世界范围的工业，这就是微型机电系统（MEMS）。它包括从喷墨打印机墨盒、气囊传感器、汽车和飞机陀螺仪显示器在内的各种各样的东西。微型机电系统是一个小的机器，它是如此之小，以致可以很容易装到一根针的针尖上。它们是用计算机工业中所用的同样的蚀刻技术制造的。不同于蚀刻晶体管，而是蚀刻小的机械零件，产生的机械零件是如此之小，只有用显微镜才能看到。

科学家制造了一个原子版的算盘，这种古老的亚洲计算设备由若干垂直的金属柱组成，每根金属柱穿有木珠。在2000年，IBM苏黎世（Zurich）研究实验室通过用扫描显微镜操控单个原子制造了一个原子版的算盘。原子算盘不是利用木珠沿金属柱上下移动，而是使用巴基球（buckyballs），是由碳原子排列形成像足球形状的分子，比人的头发宽度小5000倍。

在康奈尔（Cornell）大学，科学家甚至制作了一个原子吉他。它有6根弦，每根弦只有100个原子宽。将20个这样的吉他端点对端点地摆在一起，可以放到一根头发里。这个吉他是真的，有着真正的能拨动的弦（尽管这些原子吉他的频率太高，人的耳朵听不见）。

但是这项技术最广泛的实际应用是气囊，安全气囊里面有一个小的微型机电加速计能够检测突然的刹车。这个微型机电加速计由附在弹簧或杠杆上的精微的球组成。当你猛踩刹车时，突然地加速会摇晃这个球，小球的运动产生小的电荷。这个电荷然后击发化学爆炸，在1/25秒内释放大量氮气。这项技术已经拯救了几千人的生命。



我们身体里的纳米机器

在不久的将来，会有一种新型的纳米设备出现，它会使医学发生革命，如在遍及全身的血流中巡游的纳米机器。在电影《奇异的旅程》（*Fantastic Voyage*）中，一组科学家和他们的船小型化到一个红血球细胞的尺寸。然后这艘船开始了通过患者血液的流动和大脑的航行，在患者的身体里遇到一系列危险，备受折磨。纳米技术的一个目标是制造分子杀手，瞄准一个癌细胞，干净利落地消灭它们，留下正常的未受感染的细胞。科幻作家早就梦想能有在血液中漂浮的分子搜索清扫船，不断地监视癌细胞。但是批评家曾经认为这是不可能的，是幻想作家的白日梦。

这个梦想的一部分今天实现了。在1992年，布法罗（Buffalo）大学的杰罗姆·申塔格（Jerome Schentag）发明了我们在前面提到的智力丸，一个药丸大小的小器械，吞下之后可以用电子方法跟踪。它可以接受指令把药物送到适当的位置。在智力丸内有电视摄像机，当药丸通过肠胃时可以拍照身体内部。可以用磁铁引导它们。在将来，也许可以用这些智力药丸做很小的手术，从内部清除任何异常和做活组织检查，而无须切开皮肤。

纳米粒子是一个更加小得多的设备，它是一个能将抗癌药物瞄准特定目标的一个分子，将会使癌症的治疗发生革命。这些纳米粒子可以和分子智能炸弹相比，设计用化学药物轰击特定的目标，极大地减小治疗过程中的间接损伤。非智能的炸弹轰击一切，包括健康的细胞，而智能炸弹却是有选择性的，仅导向追踪癌细胞。

任何经历过化学疗法可怕副作用的人，都会理解这些纳米粒子减少病人痛苦的潜力。化疗的工作是将整个身体用致命的生物化学毒素照射，杀死癌细胞的效力仅比杀死正常细胞的高一点。化疗的间接损伤是多方面的。负面作用（如恶心、掉头发、虚弱等）是如此之严重，以致有些癌症患者情愿死于癌症，也不愿意受如此的折磨。

纳米粒子可以改变这一切。药品，如化学疗法药物将放在形状像胶囊的分子中。然后让纳米粒子在血液中循环，直到它找到特定的目标，

然后释放药物。

关键是这些纳米粒子的尺寸：要在10纳米至100纳米之间，因为太大就不能穿过血液细胞，结果纳米粒子碰到正常的血液细胞会被无害地弹回。但是癌细胞就不同了，它们的细胞壁布满了大的不规则的孔。纳米粒子可以自由地进入癌细胞，投递药物，而不与健康组织接触。这样医生就不需要复杂的导向系统驾驭这些纳米粒子，它们将自然地聚集在某类癌的肿瘤上。

这样做的美妙之处在于不需要复杂的、危险的、可能有严重副作用的治疗方法。只要这些纳米粒子的尺寸合适就行：大到不能攻击正常的细胞，但要正好能穿透癌细胞。

另一个例子是马萨诸塞州剑桥的BIND生物科学研究所的科学家制造的纳米粒子。这种纳米粒子是由聚乳酸（Polylactic acid）和共聚乳酸（copolylactic acid）或乙醇酸（glycolic acid）制作的，能够在分子网中保存药物。这就产生了纳米粒子的有效载荷。纳米粒子的引导系统是缩氨酸，它涂在粒子上，能专门与靶细胞黏合。

这种方法特别引人之处是：这些纳米粒子是自己形成的，无须复杂的工厂和化学车间。将各种化学药品按适当的顺序慢慢混合在一起，在严格控制的条件下纳米粒子就自我集合了。

“因为自我集合不需要多个复杂的化学步骤，所以这种粒子很容易制造……我们可以以公斤级的规模来生产它，还没有别人能这样做。”哈佛医学院的内科医生，BIND生物科学研究所的奥米德·法鲁扎德（Omid Farokhzad）说。这些纳米粒子已经在老鼠身上证明了它们有抗前列腺癌、乳腺癌和肺癌肿瘤的价值。利用有色染料可以显示这些纳米粒子是聚集在出了问题的器官上，并按要求的方式释放化学药物。对人类患者的临床试验将在几年内开始。



杀死癌细胞

这些纳米粒子不仅能寻找癌细胞，投递杀死癌的化学药品，实际上它们也能就地杀死癌细胞。原理很简单。这些纳米粒子能吸收一定频率的光。将激光聚焦在这些粒子上，它们将发热或振动，在癌细胞附近通过破坏癌细胞壁消灭癌细胞。因此，关键是要让这些粒子距离癌细胞足够近。

有几个小组已经研制了原型。在阿贡（Argonne）国家实验室和芝加哥大学的科学家已经生产了二氧化钛纳米粒子（二氧化钛是在防晒油的遮光剂中发现的）。这个小组发现，他们能够将这些纳米粒子与一种抗体结合在一起，能够自动寻找某种叫做多形性胶质母细胞瘤（GBM）的癌细胞。这样，这些纳米粒子搭载在这个抗体上，被带到癌细胞上。然后用一束白光照射5分钟，加热和最终杀死癌细胞。研究表明，80%的癌细胞可以用这种方法消灭。

这些科学家还发明了杀死癌细胞的第二种方法。他们创造了能够猛烈振动的极小磁盘。一旦这些极小磁盘导入癌细胞，让一个小的外界磁场通过极小磁盘，引起极小磁盘振动和撕开癌细胞的壁。在试验中，90%的癌细胞仅在振动10分钟后就被杀死。

这个结果并不是侥幸成功的。在圣克鲁兹（Santa Cruz）的加利福尼亚大学的科学家利用金纳米粒子设计了类似的系统。这些粒子直径只有20纳米到70纳米，只有几个原子厚，排列成球形。科学家利用已经知道能攻击皮肤癌细胞的某种缩氨酸。让缩氨酸与金纳米粒子连接，然后将金纳米粒子投送到老鼠的皮肤癌细胞上。用红外线照射，金纳米粒子加热肿瘤细胞，然后杀死它。“这基本上像把癌细胞放到沸水中，把它煮死。金属纳米粒子球产生的热量越多，效果越好。”一位叫张进（Jin Zhang）的研究员说。

因此在将来，纳米技术将在肿瘤形成几年甚至几十年前检测癌细胞群落，并且让纳米粒子在血液中循环以消灭这些癌细胞。基础科学今天已经做到了。



血液中的纳米卡车

纳米粒子的下一步是纳米卡车，一个在身体里行进时可以实际导向的设备。纳米粒子只能在血液中自由地免费循环，而纳米卡车就像可以驾驭和控制的遥控无人驾驶飞机一样。

莱斯（Rice）大学的詹姆斯·图尔（James Tour）和他的同事制作了这样一辆纳米卡车。它没有轮子，而是有4个巴基球（buckballs）。这项研究的下一个目标是设计一辆分子卡车，能够推着一个小机器人在血液中到处跑，杀死沿途的癌细胞或将救生药物投递到身体的精确位置。

但是分子卡车的一个问题是它没有发动机。科学家创造了越来越多

的完善的分子卡车，但是创造分子动力源是主要的障碍之一。大自然母亲解决了这个问题，它用三磷酸腺苷（ATP）这种分子作为能源。三磷酸腺苷（ATP）提供的能量使得生命得以存在。它供给肌肉每一秒钟运动的能量。这个三磷酸腺苷（ATP）的能量是存储在原子之间的原子键中。但是创造一个它的合成替代物被证明是很困难的。

宾夕法尼亚州立大学的托马斯·马卢克（Thomas Mallouk）和阿尤什曼·森（Ayusman Sen）发现了这个问题的潜在解决方案。他们创造了一辆纳米卡车能每秒钟实际移动几十个微米，与大多数细菌的移动速度相当。（他们首先制造了一个由金和铂做成的纳米杆，和细菌一样大。将纳米杆放到水和过氧化氢的混合液中。这就在纳米杆的两端产生了化学反应，引起质子从杆的一端跑到另一端。因为质子推动水分子的电荷，所以推着纳米杆向前跑。只要水中有过氧化氢，纳米杆就能继续向前运动。）

也可以利用磁力驾驭这些纳米杆。科学家把镍盘植入纳米杆，这样它们的作用就像罗盘的指针一样。将普通电冰箱的磁铁靠近这些纳米杆，就可以操纵它们沿着你希望的任何方向移动。

还有另一种方法是利用闪光驾驭分子机器。光能够将分子分离为正离子和负离子。这两种类型的离子以不同的速度在介质中扩散，因此产生一个电场。然后这个分子机器被这些电场吸引。于是，将闪电指向一个方向，就能驾驭分子机器朝这个方向移动。

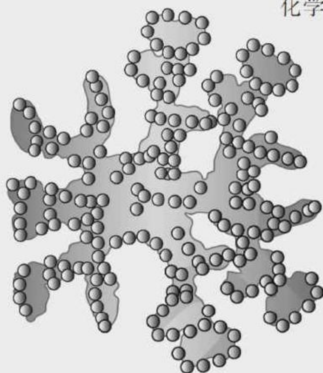
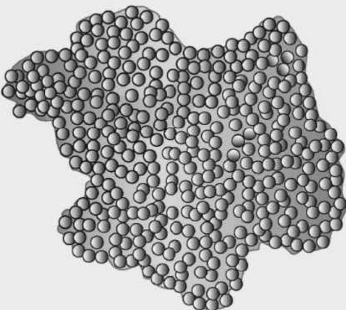
当我访问加拿大蒙特利尔工学院（Polytechnic Montréal）的西尔万·马特尔（Sylvain Martel）实验室时，我看到了这个演示。他的想法是利用普通细菌尾部来推动一个小芯片在血液中向前走。到目前为止，科学家还不能加工在细菌尾部发现的那种原子马达。马特尔（Martel）问他自己：“如果不能用纳米技术制作细菌的这些小的尾部，为什么不能利用活细菌的尾部呢？”

他首先创造了比本书句末尾的句号还小的计算机芯片。然后他培育一批细菌。他能够把大约8个细菌放到这个芯片后面，使它们的作用就好像推进器一样，推着芯片向前进。因为这些细菌有些磁性，马特尔可以利用外部磁铁驾驭它们到他想要去的任何地方。

我有机会亲自驾驭这些细菌推进的芯片。我看着显微镜，我可以看到微小的计算机芯片被几个细菌推着走。我按一个按钮打开磁铁，这个芯片向右移动。我松开按钮，芯片停止，然后随机移动。用这种方法我可以实际驾驭这个芯片。在我这样做的时候，我意识到有一天医生也可以按同样的按钮，但这一次是指向病人脉管中的纳米机器人。

我们可以想象将来的手术会完全在血液中移动的，被磁铁导向的分子机器所代替。这些分子机器被导向对准有病的器官，然后释放药物或进行手术。切开皮肤将是完全没有必要的。或者，磁铁可以引导这些纳

米机器进入心脏，去掉动脉上的堵塞。（图7）

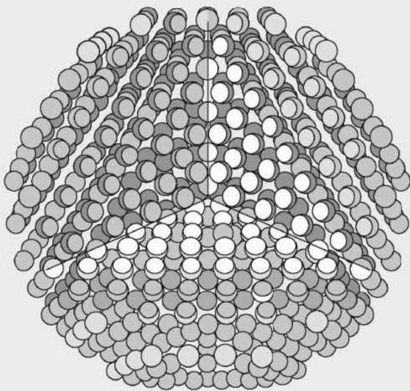


图7　分子机器人将巡视我们的血液，鉴定和消灭癌细胞与病原体。分子机器人将使医学发生革命。



DNA芯片

正如在第3章提到的，在将来，在我们的衣服、身体、浴室里会有微小的传感器，不断监视我们的健康和检测疾病，在癌细胞变得危险之

前若干年就发现它们。其中的关键是DNA芯片，它提供“芯片上的实验室”。就像《星际迷航》中的三录仪（tricorder）一样，这些微小芯片在几分钟之内就给出医学分析。

今天，筛选癌细胞是一个漫长的、昂贵的和费力的过程，常常要几周时间。这就严重限制了能够进行的癌分析的数量。然而，计算机技术改变了这一切。科学家已经创造了能迅速和廉价检测癌的设备，采用的是寻找癌细胞产生的某些生物学标记。

利用计算机芯片中使用的同样的蚀刻技术，有可能蚀刻一个芯片，在这个芯片上建一个显微镜站点，检测特有的DNA次序或癌细胞。

利用晶体管蚀刻技术，DNA片段可以植入芯片中。当流体流过芯片时，这些DNA片段可以和特有的基因顺序捆绑在一起。然后，利用激光束可以迅速扫描整个站点和鉴别基因。用这种方法，不需要像以前一样一个一个地检查基因，而是一次扫描几千个基因。

在1997年，美国昂飞公司（Affymetrix）发行了第一个商业DNA芯片，它可以迅速分析5万个DNA次序。到2000年，可用的DNA探针达到40万个，每个只要几千美元。到2002年，即便是更强大芯片的价格也降到200美元。由于摩尔定律，价格还会继续下降，降到几个美元。

多伦多（Toronto）医学院教授沙纳·凯莉（Shana　Kelley）说：“今天，需要一个房间才能放下用来评估与临床有关的癌细胞生物标记样品的计算机，结果还不能很快得到。而我们的小组能够在手指尖大小的电子芯片上测量生物分子。”她还预想有一天，所有分析这些芯片的设备将缩小到手机的尺寸。这个芯片上的实验室将意味着，在医院和大学里的化学实验室可以缩小到一个芯片上，结果我们可以在浴室中使用它。

马萨诸塞州总医院的医生已创造了他们自己定制的生物芯片，要比市场上现有的强大100多倍。通常，在血液里的循环肿瘤细胞（CTCs）在100万个血液细胞中不到1个，但是这些循环肿瘤细胞（CTCs）如果扩散的话也会要我们的命。新的芯片足够敏感，能在10亿个血液细胞中找出1个在血液里的循环肿瘤细胞（CTCs）。结果这个芯片已经证明只要分析一小茶匙血液就能检测肺癌、前列腺癌、胰腺癌、乳腺癌和结肠癌细胞。

标准蚀刻技术雕刻的芯片含有78000个精微的柱，每个高100微米。在电子显微镜下，它们像一片圆柱的森林。每个柱涂上一层上皮细胞黏附分子（EpCAM）的抗体，这些抗体是在很多类型的癌细胞中发现的，但是在正常细胞中没有。上皮细胞黏附分子（EpCAM）对于癌细胞在形成肿瘤时彼此感染是必须的。如果血液流过芯片，肿瘤细胞粘在圆柱上。在临床试验中，这个芯片在116个患者中有115人检测出癌细胞。

这些“芯片上的实验室”的增殖也会根本地影响诊断疾病的费用。目前，需要几百美元和几周时间才能做一次活组织检查或化学分析。在将

来，也许只要几分钱和几分钟时间。这将使癌的诊断速度和可达性发生革命。每次刷牙的时候，各种疾病，包括癌就得到透彻的检查。

华盛顿大学的勒罗伊·胡德（Leroy Hood）和他的同事创造了一个芯片，大约4厘米宽，能够从一滴血中检测特定的蛋白质。蛋白质是生命的建造砖块。我们的肌肉、皮肤、头发、激素和生物化学酶全都是蛋白质做的。从癌症这样的疾病中检测蛋白质，可以为身体构建一个早期预警系统。目前，这个芯片的造价仅10美分，能够在10分钟内识别特定的蛋白质，因此它比原来系统的效率高几百万倍。胡德想象，当有一天，一个芯片能够迅速分析几十万种蛋白质时，就能在各种各样的疾病变得严重之前向我们发出警报。



碳纳米管

纳米技术威力的一个象征是碳纳米管。在原则上，碳纳米管比钢强并且能导电，因此用碳制造计算机是可能的。尽管它们非常之强，但一个问题是它们必须是纯的，并且现今最长的纯碳纤维只有几厘米长。但是总有一天，整个计算机将会是碳纳米管和其他分子结构制造的。

碳纳米管是由单个碳原子结合形成一根管。想象一张每一个接头都是碳原子的网。把这个网卷成一个管，就得到碳纳米管的几何形状。每一次产生普通的烟灰时都形成碳纳米管，但是科学家从未认识到可以用这种新颖的方式结合碳原子。

碳纳米管近乎神奇的性质在于它们的原子结构。通常，当你分析一块固体的材料时，如岩石或木头，你实际分析的是由很多重叠结构组成的巨大复合物。在这个复合物内很容易产生细小的裂隙，引起复合物断裂。因此，材料的强度与它的分子结构的不完善有关。例如，石墨是由纯碳构成的，但是它极软，因为它是由很多彼此可以相互滑动的层组成的。每一层由碳原子组成，每一个碳原子与3个其他的碳原子结合。

钻石也是由纯碳构成的，但它们是最强的天然形成的矿石。在钻石中碳原子排列成紧密的、相互连锁的晶体结构，使它们具有显著的强度。类似地，碳纳米管的惊人的性质是出于它们的规则的原子结构。

碳纳米管已经在工业上找到它们的用途。因为它们是导电的，可以用它生产电缆以承载巨大的电能。因为它们强度很高，所以可以用来创造比“凯夫拉”（Kevlar）合成纤维还要坚韧的物质。

但是也许碳的最重要的应用是在计算机工业上。碳是最终可以替代作为计算机技术基础的硅的若干候选材料之一。将来的世界经济也许最终将依赖这个问题：用什么来替代硅？



后硅时代

正如前面提到的，信息革命最基础的一个定律：摩尔定律，不可能永远持续下去。世界经济的将来和国家的命运，将最终取决于哪个国家能开发出能适当替代硅的产品。

摩尔定律何时崩溃的问题威胁着全世界的经济。在2007年有人问戈登·摩尔（Gordon Moore）本人一个问题，是否他认为以他名字命名的这个著名的定律可以永远持续下去。当然不能，他说，并预计将在10年到15年结束。

这个粗略的估计和英特尔（Intel）的保罗·加尔吉尼（Paolo Gargini）以前所做的估计一致，他在英特尔是负责所有外部研究的。因为英特尔公司设定了整个半导体工业的步伐，所以他的话受到重视。在2004年半导体西部年会上，他说："依我看，至少下一个15年到20年，我们将可以继续依赖摩尔定律。"

当前基于硅的计算机革命是受一个最重要的事实驱动的：紫外线在硅晶片上蚀刻越来越小的晶体管的能力。今天，在手指甲大小的晶片上的奔腾芯片可以有几亿个晶体管。因为紫外线的波长可以短到10个纳米，所以有可能利用蚀刻技术雕刻直径只有30个原子的构件。但是这个过程不能永远继续下去。或迟或早，它将会崩溃，理由如下：

首先，强大的芯片产生的热将最终使它们熔化。一个天真的解决方案是将晶片堆叠在一起，一个在另一个之上，产生立方体的芯片。这将会增加芯片的处理能力，但代价是产生更多的热。从这些立方体芯片产生的热是如此强烈，以致可以在它们的顶部煎鸡蛋。问题很简单：在立方体芯片上没有足够的表面积使它冷却。通常，如果用冷水或空气冷却芯片，那么有更多的面与芯片接触后冷却效果会更大。但是如果是立方体芯片，表面面积就不够。例如，如果将立方体芯片尺寸增加1倍，产生的热量增加为8倍（因为立方体含有的电子构件增加为8倍），但是它的表面积仅增加为4倍。这意味着立方体芯片产生的热量升高的能力比它冷却的能力要快。立方体芯片越大，越难冷却。因此立方体芯片仅提

供了局部的、暂时的解决方案。

有人建议利用X射线代替紫外线蚀刻电路，原则上这也许能够工作，因为X射线波长只有紫外线的1/100长。但是出现了另一个问题。用X射线代替紫外线，光束的能量也增加为100倍左右。这意味着用X射线蚀刻有可能烧毁掉想蚀刻的晶片。X射线平板印刷术可以和艺术家想用喷灯创造精致的雕刻相比。必须仔细控制X射线，因此X射线平板印刷术仅仅是一个短期的解决方案。

第二，有量子理论产生的基本问题：测不准原理，也就是说你不能肯定地知道任何原子或粒子的位置和速度。今天奔腾芯片一层的厚度大约30个原子。到2020年，一层的厚度可能只有5个原子厚，这样电子的位置是不确定的，它开始漏过这一层，引起短路。因此，量子理论限制了硅晶体管可以做到多么小。

正如前面提到的，我曾经在微软西雅图总部顶级工程师的3000人大会上作主题发言，我强调了摩尔定律减慢的问题。这些顶级软件工程师对我说，他们现在非常认真地考虑这个问题，他们的最好答案是利用平行处理增加计算机的处理能力。解决这个问题的最容易的方法是将一系列芯片平行串连起来，这样计算问题就分成了片，最后再组装起来。

平行处理的关键之一是了解我们自己的大脑是如何工作的。如果在思索的时候做大脑的磁共振成像扫描，就会发现大脑的各个区域同时变亮，意味着大脑把任务分成了小片，并同时处理每一片。这就解释了为什么神经细胞虽然传递电信号的速度很低，只有每小时200英里（322公里），却能胜过信息传递速度近于光速的超级计算机的原因。我们的大脑在速度上缺乏的东西，由几十亿个同时进行的小计算，然后再加在一起弥补过来。

平行处理的困难是每一个问题要分成若干片。每一片由不同的芯片处理，最后问题还要重新组装在一起。这个分解的协调是极其复杂的，具体取决于每一个问题，很难找到一个通用的程序。人的大脑毫不费力地做到这一点，但大自然母亲是用几百万年解决这个问题的。而软件工程师却只有10年左右。



原子晶体管

一个可能的硅芯片的替代品是单个原子制作的晶体管。如果因为芯

片的线和层的尺寸小到原子尺度造成硅晶体管失败，那么为什么不重新开始，靠原子来计算呢？

认识这个问题的一个方法是用分子晶体管。一个晶体管是一个控制电流流过导线的开关。有可能用轮烷（rotaxane）和苯硫酚（benzenethiol）这样的化学制剂构成的单个分子代替硅晶体管。苯硫酚分子看上去像一个在中部由原子组成的有旋钮或阀门的长管。通常，电流可自由流过这根管，使它导电。但是也可能扭动旋钮关闭电流。用这种方式，整个分子的作用像一个能控制电流的开关。在一个位置，旋钮允许电流通过，可以代表数字“1”。如果旋钮扭转，电流就停止，代表数字“0”。这样，利用分子可以发送数字信息。

分子晶体管已经存在。几家公司宣布他们创造了单个分子做的晶体管。在能够进行商业使用之前，必须能够正确地接线和批量生产。

一个有希望的分子晶体管的候选品来自叫做石墨烯（graphene）的物质，它是2004年由曼彻斯特大学的安德烈·盖姆（Andre Geim）和科什佳·诺沃肖诺夫（Kostya Novoselov）从石墨中首先提取出来的，为此他们获得了诺贝尔奖。它像一个单层的石墨。碳纳米管是碳原子板卷成长的细管，而石墨烯是单一的碳薄片，只有一个原子厚。像碳纳米管一样，石墨烯代表新的物质状态，因此科学家正在研究它的非凡的性质，包括导电性。“你可以研究它一辈子。”诺沃肖诺夫说。（石墨烯也是在科学上曾经试验过的最强的材料。如果你把一支铅笔立在石墨烯薄片上，再将一头大象立在这支铅笔上，石墨烯不会撕裂。）

诺沃肖诺夫小组利用计算机工业使用的标准技术雕刻出一些从未有过的最小的晶体管。狭窄的电子束能够在石墨烯上雕刻出通路，做出世界上最小的晶体管：1个原子厚，10个原子宽。（目前，最小的分子晶体管的尺寸大约30纳米。诺沃肖诺夫的最小的晶体管比这个小30倍。）

这些石墨烯晶体管是如此之小，事实上，它们可代表分子晶体管的最终的极限。任何再小的晶体管，测不准原理将起作用，电将从晶体管漏出，破坏了它的性质。“它大约是我们能得到的最小的晶体管。”诺沃肖诺夫说。

尽管有了若干有希望的分子晶体管的候选品，但真正的问题在于：怎样把它们接线和组装成商业可用的产品。创造单个的分子晶体管还不够。大家都知道分子晶体管是极难操纵和控制的，因为它们比人的一根头发细几千倍。要找出批量加工它们的方法也是一场噩梦。在目前，这些技术还没有到位。

例如，石墨烯是这样一种新的材料，以致科学家不知道怎样大量生产它。科学家只能生产大约0.1毫米的纯石墨烯，对于商业使用来说太小了。一个希望是发现能自我装配分子晶体管的方法。在自然界，我们有时发现分子的排列像魔术一样浓缩成精确的模式。到目前为止，没有人

能重新创造这个魔术。



量子计算机

最为雄心勃勃的建议是使用量子计算机（quantum　computers），靠单个原子本身进行实际计算。有人声称量子计算机是最终的计算机，因为原子是计算可以倚靠的最小单位。

原子像一个旋转的陀螺。通常，指定陀螺旋转向上为数字“0”，旋转向下为数字“1”，就可以把数字信息储存在旋转陀螺上。把一个旋转陀螺翻个个儿，将0转换为1，就做了一次计算。

但是在奇异的量子世界中，一个原子在某种意义上同时向上和向下旋转。（在量子世界里同时位于几个地方是平常的事情。）因此原子可以含有比0或1更多的信息。它可以描述0和1的混合。因此量子计算机使用“量子位”（Quanta　Bit），而不是“位”（Bit）。例如，它可以是25%旋转向上和75%旋转向下。用这种方法，一个旋转的原子可以存储比一个单一的“位”更大量的信息。

量子计算机的威力是如此巨大，以致中央情报局（CIA）开始窥探它破译密码的潜力。当中央情报局试图破译另一个国家的密码时，它搜索关键词。各个国家设计了巧妙的方式构造对信息进行编码的关键词。例如，关键词可以是根据分解一个大数。很容易将数字21分解为3和7的乘积。现在比如说有一个100位阿拉伯数字的整数，要数字计算机把它重新写为任意两个其他整数的乘积。数字计算机也许要花100年的时间才能分解这个数。然而，量子计算机的威力是如此之大，以致在原则上它可以毫不费力地破译任何这样的密码。在应对这样庞大的任务时，量子计算机很快胜过标准的计算机。

量子计算机不是科学幻想，它今天已经实际存在了。当我访问这个领域的先锋之一，麻省理工学院的塞斯·劳埃德（Seth　　Lloyd）实验室时，我有机会亲眼看到一个量子计算机。他的实验室到处是计算机、真空泵和传感器，但核心是一个像标准磁共振成像的一个机器，但是尺寸小得多。像磁共振成像机器一样，他的装置有两个大的线圈，用于在它们之间的空间中产生均匀的磁场。样品材料放在这个均匀的磁场中。样品内部的原子像旋转陀螺一样排成一行。如果原子指向上，它相应于0。如果指向下，相应于1。然后他发送一个电磁脉冲到样品中，改变原

子的排列。某些原子翻了个个儿，于是1变成0。用这种方法，这个机器进行计算。

那么，为什么我们的桌面上还没有量子计算机来解决宇宙的秘密呢？劳埃德（Lloyd）向我承认，真正侵扰量子计算机研究的问题是来自外界的干扰破坏了这些原子的精细的性质。

当原子是“相干的”（coherent）和彼此同相位振动时，来自外部世界的最微小的干扰可以破坏这个脆弱的平衡，使原子“去相干”（decohere），结果它们不再和谐振动。即使是宇宙射线的通过或实验室外汽车的隆隆声，也能破坏这些原子精细的旋转排列和破坏计算。

去相干（decoherence）问题是创造量子计算机一个最困难的障碍。任何能解决去相干问题的人，不仅能获得诺贝尔奖，也能成为世界上最富有的人。

正如你可以想象的，从单个相干的原子创造量子计算机是一个艰巨的过程，因为这些原子很快会去相干，相位变得不一致。到目前为止，在量子计算机上进行的最复杂的计算是3×5＝15。尽管这看上去不咋的，可是请记住，这个计算是靠单个原子进行的。

此外，还有一个来自量子理论的另一个奇异的复杂性，也是测不准原理。在量子计算机上所做的所有计算是不确定的，因此不得不重复试验很多次。这样至少有的时候2＋2＝4。如果重复计算2＋2很多次，最后的答案平均是4。于是甚至算数在量子计算机上也变得模糊。

没有人能知道什么时候能解决去相干问题。因特网的原创人之一，温特·瑟夫（Vint Cerf）预计：“到2050年，我们肯定能找到办法实现室温量子计算。”

我们还应该指出比赛的奖金是如此之高，以致科学家在探索各种各样的计算机设计。一些竞争性的设计包括：

- 光学计算机（**optical computers**）：这些计算机靠光束计算，而不是电子。因为光线可以彼此穿过，所以光学计算机的优点是可以是立方体的，不需要连线。此外，激光可以利用普通晶体管一样的平版印刷技术进行加工，因此在理论上可以在一个芯片上塞满几百万个激光器。
- 量子点计算机（**quantum dot computers**）：在芯片上使用的半导体可以蚀刻成很小很小的，由大约100个原子集合构成的小点。在这一点，这些原子可以开始和谐振动。在2009年，世界最小的量子点由单个的电子构建。这些量子点已经证明有发光二极管和计算机显示的价值。在将来，如果这些量子点适当排列，也许能够创造量子计算机。

- **DNA**计算机（**DNA computers**）：在1994年，第一台由DNA分子制造的计算机在南加利福尼亚大学问世了。因为在氨基酸上的一串DNA编码信息是由字母A、T、C、G代表的，而不是由0和1代表的，所以DNA可以看做普通的计算机磁带，只是它能储存更多的信息。用同样方法，计算机还能操作和重新安排大的数字，还可以用混合的含有DNA的流体管进行模拟操作，因为DNA可以用各种方法切割和连接。尽管这个过程很慢，但是有万亿个DNA分子同时动作，因此DNA计算机能够比数字计算机更便利地解决某些计算问题。但数字计算机很便利，可以放在手机里，而DNA计算机看起来不太雅观，包含有含有DNA的混合流体管。



变形

在电影《终结者2：审判日》（*Terminator 2：Judgment Day*）中，阿诺德·施瓦辛格受到来自未来的高级机器人T-1000的攻击。这个机器人是液体金属做的。它像一块颤动的水银块，能够改变形状，滑过任何障碍。它能渗进最小的裂缝，重新长出手和脚成为致命的武器。然后它能突然变成原来的形状进行谋杀和胡作非为。T-1000似乎是一个不可阻止、完善的杀人机器。

当然，所有这些都是科幻。今天的技术无法让你随意改变固体物体的形状。然而到本世纪中期，这种改变形状的技术可能会变得普通。事实上，英特尔是推动这项技术的主要公司之一。

出乎意料的是，到2050年纳米技术的成果将遍地开花，但却是隐藏着看不见的。几乎每一个产品都要用分子加工技术增强，使它们变得超强，有抵抗力、导电和柔软。纳米技术也给我们传感器，以我们看不见的、隐藏的方式分布在周围环境中，不断保护和帮助我们。我们走过街道，看上去一切相同，但却不知道纳米技术已经改变了周围的世界。

但是纳米技术的一个结果将是明显的。

《终结者》中的T-1000杀人机器，也许是来自可设计改变的物质领域的物体的一个最有戏剧性的例子之一，总有一天，这种可设计改变的物质让我们按一下按钮就能改变一个物体的形状、颜色和物理形式。粗略说来，甚至霓虹灯广告招牌也是一种形式的可设计改变物质，因为你可以打开开关让电流穿过气体管。电流激发气体原子，当气体原子回复到正常状态时发出光。一个更常见的例子是到处可见的计算机屏幕液晶显示器（LCD）。液晶显示器含有液晶，通过小的电流就变得不透明。因此，通过按一下按钮调整流过液晶内部的电流，就能在屏幕上产生颜色和形状。

英特尔的科学家的雄心更大。他们设想利用可设计改变的物质去实际改变固体物体的形状，就像科幻中那样。想法很简单：制造小沙粒形状的计算机芯片。这些智能沙粒表面的静电荷可以改变，因此这些沙粒

可以互相吸引或排斥。用一组电荷，这些晶粒可以形成某种形式的排列。但是可以重新编制这些晶粒使它们的电荷改变。一瞬间，这些晶粒就自己重新排列了，形成完全不同的布局。这些晶粒被称为“纳米模块原子”〔catoms，纳米级可编程模块物质（Claytronics）原子的简写。暂译名〕，因为只要改变它们的电荷就可以形成各种各样的物体，很像原子。〔可设计改变的物质与第2章看到的模块机器人有很多相同之处。模块机器人含有智能模块，尺寸大约2英寸（5.1厘米），自己可以重新安排，而可设计改变的物质把这些建筑块缩小到亚毫米尺度和更小。〕

这项技术的促进者之一是杰森·坎贝尔（Jason Campbell），一位英特尔的高级研究员。他说：“考虑一个移动设备。如果手机太大，就不能轻松地放在口袋里，如果太小，又不方便手指操作。更糟的是不能很好地看电影和发送电子邮件。但是如果我有200到300毫升的纳米模块原子，我就能把它做成我需要的设备。这样在一个时候，我有手机在手。下一个时候又变成别的东西。用这种办法我不需要携带很多的电子器具。”

在英特尔的实验室里已经创造了一大批纳米模块原子（catoms），尺寸大约1英寸。纳米模块原子像一个在表面有均匀分布的小电极的立方体。纳米模块原子独一无二的特点是可以改变每一个极的电荷，这样纳米模块原子可以彼此在不同的方向结合。用一组电荷，这些立方块可以联合产生一个大立方体。改变每一个立方块的电极，这些纳米模块原子将拆开，并重新排列成完全不同的形状，如一艘船。

这里的要点是把每一个纳米模块原子（catom）缩小到沙粒的大小，或甚至更小。如果有一天硅蚀刻技术能让我们创造细胞那样小的纳米模块原子，我们就真的能将一种形状变成另一种形状，只要按一下按钮。英特尔的高级研究员贾斯汀·拉特纳（Justin Rattner）说：“再过大约40年，这将成为日常的技术。”这项技术可立即用在汽车设计者、航线工程师、艺术家、建筑师和设计其项目的三维模型，又要不断修改模型的任何人。例如，一辆4门的私家轿车的模型可以伸展突然变成有仓门式后背的汽车。压缩这个模型又可以变成跑车。这比没有记忆和智力的泥模要优越得多。可设计改变物质有智能，能记住以前的形状，能适应新思想，能响应设计者的愿望。一旦模型做好后，可将设计通过电子邮件发给成千上万的其他设计人员制作精确的复制品。

这可能会对消费产品产生深远的影响。例如，玩具可以编制程序通过插入新的软件指令改变形状。这样到圣诞节时，只需下载新玩具的软件，对旧玩具重新编程，一个完全新的玩具就出现了。孩子们庆祝圣诞节可以不通过打开圣诞树下的礼物，而是下载圣诞老人通过电子邮件发来的他们喜欢的玩具的软件，还有成为市场上最热门的纳米模块原子（catom）做成的年末的玩具。你无须雇用卡车运送新的家具和家电，只需从网上下载软件重新使用旧产品。使用可设计可编程的物质粉刷住宅和公寓不再是繁重的家务劳动。在你的厨房里，换瓷砖、桌面、器具、橱柜也许只是按一下按钮的问题。

此外，这会减少废品处理。你不需要扔掉很多不想要的东西，因为这些东西只要重新编程还可以使用。如果一个用具或一件家具破了，只需重新编程将它变为新的。

尽管英特尔小组承诺很多，但他们也面对很多的问题。一个问题是怎样协调所有这些几百万个纳米模块原子（catom）的运动。当我们试图将所有信息送入可编程物质时将会遇到带宽问题。但是也有捷径可走。

例如在科幻电影中经常会看到“变形金刚”，也就是一个人突然变成了怪兽。在影片中创作“变形金刚”曾经是非常复杂和繁琐的过程，但是现在用计算机来做就变得很容易。首先确定一个向量，它标记人和怪兽脸上的不同的关键点，如鼻子和眼睛。每一次一个向量地移动，脸就渐渐变化。然后计算机编制程序移动这些向量，从一张脸到下一张脸，这样就慢慢从一张脸变成另一张脸。用同样方法，也许有可能利用捷径改变3D物体的形状。

另一个问题是纳米模块原子（catom）之间的静电力比将大多数固体保持在一起的强劲的原子力要弱。正如我们已经看到的，量子力可以十分强大，造成金属的韧性和塑料的弹性。用静电力复制这些量子力以保证这些产品的稳定性在将来仍然是一个问题。

在我带领科学频道摄制组访问卡内基梅隆（Carnegie Mellon）大学的塞斯·戈尔茨坦（Seth Goldstein）时，我有机会亲眼见证了可编程物质的显著的、快速的进展。在他的实验室，我看到桌子上到处都是大大小小的大堆的立方块，每块都有芯片在里面。我看到两个立方块靠电动力紧紧绑定在一起，他要我试试用手把它们分开。令人惊讶的是我分不开。我发现将这两个立方体绑在一起的电动力很强大。然后他指出，如果将这些立方体小型化，这些电动力会相对地更大。他把我带到另一个实验室，让我看这些纳米模块原子（catom）可以变得多小。利用在硅晶片上蚀刻几百万晶体管的同样技术，他雕刻出精微的纳米模块原子，直径只有几个毫米。实际上它们太小了，只有在显微镜下才能看清楚。他希望通过控制它们的电动力，最终使它们能在按一下按钮后就排列成任何形状，就像魔术师变出他想要的任何东西一样。

然后我问他，怎么才能给几十亿个纳米模块原子（catom）详细的指令，比如说，让一个电冰箱突然变成烤箱呢？它看上去像设计一个噩梦，我说道。但是他答复说，没有必要给每个单个的纳米模块原子详细的指令。每个纳米模块原子仅必须知道它必须贴在哪个邻居上。如果每个纳米模块原子只需指令它和一小组邻近的纳米模块原子绑定，那么这些纳米模块原子将会魔术般地重新安排形成复杂的结构（很像婴儿大脑的神经细胞，在它们发育时只需要知道怎样与邻近的神经细胞连接就可以了）。

假定规划和稳定性问题能够解决，那么到本世纪末就有可能按一下

按钮，整个建筑或甚至整个城市就出现了。只需要布置好建筑物的位置，挖好地基，让万亿个纳米模块原子创造在沙漠或森林中出现的整个城市。

然而，这些英特尔的工程师们幻想有一天这些纳米模块原子可能变成人的形式。“为什么不呢？这是一件有意思的推测的事情。”拉特纳（Rattner）说。（那时也许T-1000机器人可能变成现实。）

远期（2070—2100）



圣杯：复制机

到2100年，纳米技术的鼓吹者幻想一个更加强大的机器：能够创造任何事物的分子装配机，或“复制机”（replicator）。它或许是一个洗衣机大小的机器。你把基本的原材料放进机器，然后按一下按钮。万亿万亿个纳米机器人将聚集在原材料上，每一个机器人按照程序，一个分子一个分子将它们拆开，然后把它们装配成完全新的产品。这个机器将能制造任何东西。复制机将是自史前开始使用第一个工具以来，工程和科学最高的成就和我们奋斗的最终的顶点。

复制机的一个问题是为了复制一个物体必须重新安排的巨大的原子数量。例如，人体有50多万亿个细胞和超过10^{26}个原子。这是一个令人惊愕的数字，要求巨量的存储空间才能存储所有这些原子。

但是克服这个问题的一个方法是创造一个纳米机器人，一个仍然是假想的分子机器人。这些机器人有若干关键的性质。首先，它们能复制自己。如果它们能够复制自己，那么在原则上就能产生无数的它们自己的复制品。因此诀窍是只需创造第一个纳米机器人。第二，它们能够识别分子和在精确的位置把它们切开。第三，它们能按照控制码将这些原子重新组装为不同的排列。用这种方法，身体的巨量原子不再是这样一个令人畏缩不前的障碍。真正的问题是创造第一个这样的虚构的纳米机器人，并让它自我复制。

然而，科学界对于纳米制作者这个吹得天花乱坠的梦想是不是实际可能的意见不一。一些人，如纳米技术的先锋和《创造的发动机》（*The Engines of Creation*）的作者埃里克·德雷克斯勒（Eric Drexler），想象在将来所有产品的加工是在分子级别上，创造我们今天只能想象的大量的物品。能够创造任何想要的物品的机器的诞生，将使社会的每一个方面翻个个儿。然而，其他的科学家持怀疑态度。

例如，已故诺贝尔奖得主理查德·斯莫利（Richard Smalley）在2001年《科学美国人》（*Scientific American*）的一篇文章上提出一个“黏手指”（sticky fingers）和“胖手指”（fat fingers）的问题。问题的关键是：分子机器人能够制造得这么灵巧，以致能随意重新安排分子

吗？他说答案是不能。

斯莫利和德雷克斯勒在一系列信件中进行势均力敌的争论，后来在2003到2004年之间这些信件在《化学和工程新闻简报》（*Chemical and Engineering News*）的活页上再版，使这个争论公之于众。这个争论的回声甚至今天还能感到。斯莫利的立场是分子机器的“手指”不能进行这样精细的任务，原因有两个。

首先，“手指”会面对小的吸引力，使它们和别的分子粘在一起。原子彼此粘在一起部分是由于在它们的电子之间存在的微小的电动力，如范德瓦尔斯力。想想如果你的镊子粘了蜂蜜试图修一块表吧。装配精致到表的零件这样的任何东西是不可能的。现在想一想装配比表更要复杂的东西，如一个分子，它会不断地粘在你的手指上。

其次，这些手指也许太“胖”而无法操作和控制原子。想想戴着棉手套怎么修表吧。因为这个“手指”是单个原子做的，而被操控的物体也是原子，这个手指可能太粗了，无法进行所需要的精细的操作。

斯莫利最后说：“就好像不能只是把一个男孩和一个女孩推到一起他们就会相爱一样，也不能只是通过机械运动就在两个分子物体之间产生要求的精确的化学反应……化学就像爱情一样是更微妙的事情。”

这个争论涉及到一个根本的问题：复制机将有一天使社会发生革命呢？还是将会被当做古玩被扔进到技术的垃圾箱里。正如我们看到的，在我们世界中的物理定律不容易转化到纳米世界的物理学中。我们可以忽略的影响，如范德瓦尔斯力、表面张力、海森堡的测不准原理、泡利的不相容原理等在纳米世界将起主导作用。

要认识这个问题，想象原子的尺寸像玻璃弹珠那么大，并且一个游泳池里到处是这些原子。如果你落入这个原子的游泳池，将会和落入水的游泳池完全不同。这些“玻璃弹珠”由于布朗运动会不断振动和从各个方向撞击你。要想在这个游泳池中游泳几乎是不可能的，因为就好像在蜜糖中游泳一样。每次你试图抓住一个玻璃弹珠，由于复杂的力的联合作用，它要么跑开，要么粘在你的手指上。

最后，两个科学家同意他们的意见不一致。尽管斯莫利不能完全推翻分子复制机，在尘埃落定之后，有几件事变得清楚了。首先，两人同意用切割和黏结分子的分子镊子武装纳米机器人的天真想法必须修改。在原子尺度上新的量子力占主导地位。

第二，尽管这个复制机，或万能加工器在今天是科幻，但是一种版本的万能加工器已经存在了。例如，大自然母亲用汉堡包和蔬菜做原料，在9个月的时间就把它们变成了婴儿。这个过程是DNA分子进行的，它编有这个孩子的蓝图，支配核糖体的作用。核糖体利用血液中存在的蛋白质和氨基酸，按照正确的次序切割和拼接分子。

第三，分子装配器也许能够工作，但是是以更加复杂和精密的形式。例如，正如斯莫利指出的，把两个原子放在一起并不能保证起反应。大自然母亲通常是采用第三方来圆满地解决问题，用水溶液中的酶来促进化学反应。斯莫利指出，在计算机和电子工业发现的很多化学制品不能溶解于水。但是德雷克斯勒反驳说，不是所有的化学反应都涉及水和酶。

例如，一种可能的方法叫自我组装，或从下到上的方法。自古代以来，人们使用自上到下的方法进行建筑。先用锤子和锯子这类工具把木头锯开，再按照计划把木板拼起来建造大的结构，如房屋。你必须从上面一步一步仔细地指导这个过程。

在从下到上的方法中，事物自行组装。在自然界，例如，美丽的雪花全是在下雪中自行结晶的。万亿万亿个原子重新安排创造新的形式。不需要人设计每一个雪花。在生物系统中通常也会发生这种现象。细菌的核糖体是复杂的分子系统，至少含有55种不同的蛋白质分子和若干核糖核酸（RNA）分子，可以在试管中自动地自我复制。

自我复制也用在半导体工业上。在晶体管中使用的构件有时是自行组装的。按精确的次序利用各种复杂的技术和工艺，如淬火、结晶、聚合、蒸汽沉积和凝固等，能够生产各种商业上有价值的计算机构件。正如我们前面看到的，用来杀死癌细胞的一种纳米粒子可以用这种方法生产。

然而，大多数事物不能自我产生。一般只有一小部分纳米材料呈现自我组装的性质。你不能像点菜单一样订购一个利用自我进行组装的纳米机。因此用这种方法创造纳米机的进程将是稳步前进的，但是缓慢的。

总起来说，分子装配机显然没有违背物理定律，但将是极难建造的。纳米机器人现在不存在，在最近的将来也不会存在，但是一旦或如果第一个纳米机器人成功的产生了，它会像我们知道的那样改变社会。



建造一个复制机

复制机可能会是什么样子？没有人能精确地知道，因为我们离开实际能够创造它还有几十年到100年，但是在我实际进行头部检查时，我体验到一个复制机会是什么样子的。他们为科学频道专栏制作了一个我

的脸的真正的3D塑料复制品，方法是用激光束水平扫过我的脸。当激光束从我的皮肤弹回时，传感器记录这个反射，将图像送入计算机。然后激光束在我的脸上进行下一行扫描，略微低一点。最终，它扫过我的整个脸，把它分成很多的水平小条。在计算机屏幕上出现了由这些水平条构成的我的脸的3D图像，精确度也许达0.1毫米。

然后这些信息送到一个与电冰箱差不多大的设备中，这个设备能制作融化物体的塑料的3D图像。这个设备有一个水平移动的小喷嘴，能多次来回走动。每走一次，它喷出小量熔化的塑料，复制我原来的激光图像。大约10分钟和多次走动之后，从这个机器中出来一个模子，和我的脸相同得出奇，让我有些害怕。

这项技术的商业应用是巨大的，因为可以创造任何3D物体的真实的复制品，如复杂的机器零件，只是几分钟的事情。然而，我们可以想象再过几十年到100年，会有一种设备在细胞和原子水平上创造一个真实物体的3D复制品。

更进一步，有可能利用这个3D扫描创造人体的活器官。在维克森林（Wake　Forest）大学，科学家领先发明了一种用喷墨打印机产生活的心脏组织的方法。首先，他们必须写出软件，控制喷嘴每一次扫描时相继喷出活的心脏细胞。为此，他们用了普通的喷墨打印机，但是墨盒里装的是含有活的心脏细胞的流体混合物。用这种方法，他们控制了每个细胞的精确的3D位置。在多次扫描后，他们能够实际产生各层心脏组织。

还有另外一种手段也许有一天能够记录身体的每一个原子的位置：磁共振成像（MRI）。正如前面看到的，磁共振成像扫描的精度大约是0.1毫米。这意味着一个灵敏的磁共振成像仪扫描的每一个像素可以包含几千个原子。但是如果考察磁共振成像背后的物理学，就会发现图像的精确度和机器内磁场的均匀性有关。这样，增加磁场的均匀性，精度还能高于0.1毫米。

科学家已经预想一个分辨率小到细胞尺度的磁共振成像类型的机器，甚至更小，能够扫描小到单个分子和原子。

总起来说，复制机没有违背物理学定律，但是很难用自我组装的方法制造。到本世纪晚期，当自我组装技术最终掌握之后，我们可以指望复制机应用在商业上。



灰黏垃圾

有些人，包括美国太阳（Sun）公司的奠基人比尔·乔伊（Bill Joy），对纳米技术有所保留，他写到，要不了多久这个技术就会变得疯狂，吞噬地球的所有矿藏，吐出无用的“灰黏物质”（Gray Goo），这不过是一个时间早晚的问题。甚至英国王子查尔斯也公然反对纳米技术和灰黏垃圾这种结果。

危险在于这些纳米机器人的关键性质：能够自我繁殖。像病毒，一旦释放到环境中就无法收回。最终，它们能够疯狂地增生扩散，接管环境和毁坏地球。

我自己的想法是，离开这个技术成熟能够创造复制机还有几十年到100年，担心灰黏垃圾问题还为时过早。在将来的几十年中，我们有足够的时间设计安全装置，不让纳米机器人变得疯狂。例如，可以设计破损安全系统，按紧急按钮，让所有机器人失去作用。或者可以设计“机器人杀手”，专门用来寻找和消灭失去控制的纳米机器人。

再一种办法是看一下大自然母亲是怎样做的，它有几十亿年处理这个问题的经验。我们的世界充满了自我繁殖的分子生命形式，叫做病毒和细菌，它们的繁殖可以失去控制，也能发生变异。然而，我们的身体也产生它自己的“纳米机器人”，一种抗体和免疫系统中的白血球，它们能找出和消灭奇异的生命形式。这个系统肯定是不完善的，但是它提供了一个处理这个失去控制的纳米机器人问题的办法。



复制机的社会影响

《激进演化》（*Radical Evolution*）一书的作者乔尔·加鲁（Joel Garreau）为我曾经主持的BBC发现专栏作了一次讲演，他说：“如果自我组装最终确能变成现实，‘天啊！’这就进入历史上最神圣的时刻之

一。那时我们将真的谈论把世界变成一个以前从未见过的世界。”

有一个古老的谚语说，要小心你希望得到什么，因为也许它会变成真的。纳米技术的目标是要创造分子装配机或复制机，它可以改变社会本身的根基。在整个人类历史上，有一个贯穿社会的主题，它形成我们的文化、哲学和宗教。在一些宗教中，繁荣被看做是神的赐予，而穷困被看做是惩罚。佛教则相反，它是建筑在普遍的受苦受难和我们应该怎样应付的基础上的。而在基督教中，新遗嘱说：“骆驼穿针易，富人上天难。”

财富的分配也确定了社会本身。封建主义是建立在少数贵族拥有财富和农民贫困基础上的。资本主义是基于这种思想：精力充沛和积极生产的人由于他们开公司、辛勤劳动变得富裕而得到回报。但是如果懒惰、不积极生产的人按一下按钮也能免费得到所需要的东西，那么资本主义就不再有效了。一个复制机将使一整车苹果翻个个儿，人的关系也要翻个个儿。有钱人和没钱人的区别将消失，和它一起还有地位和政治权利的概念也要改变。

在《星际迷航：下一代》（*Star Trek*：*The Next Generation*）中有一段情节探讨了这个难题。星际飞船发现一个来自20世纪的太空舱飘浮在外层空间。在这个太空舱里是在20世纪受那时无法医治的疾病折磨的人的冰冻的身体，希望将来能够复活。星际飞船“进取”号的医生很快治好了这些人的病，让他们复活。这些幸运的人惊奇他们的赌博债务付清了，但是其中有一个人是精明的资本家。他问的第一件事是这是什么时期？当他发现他现在是活在24世纪时，他立刻认识到他的投资今天发了。他立刻要求与他地球上的银行家联系。但是“进取”号的机组成员迷惑了。钱？投资？这些在将来不存在。在24世纪，只要你要什么就会给你。

这也产生了一个寻找完美社会，或“乌托邦”的问题。这个词是托马斯·莫尔（Thomas More）先生在1516年写的小说《乌托邦》（*Utopia*）中发明的。他为周围人们的痛苦和悲惨而惊恐，他幻想在大西洋一个虚构的岛上有一个天堂。在19世纪，在欧洲有很多社会运动寻找各种形式的乌托邦，他们中的很多人逃到美国发现了避难所，甚至今天我们在这里还能看到他们定居的证据。

一方面，复制机能给我们19世纪的幻想家幻想的乌托邦。从前的乌托邦失败是由于物资贫乏，结果导致不平等，然后争吵，最终崩溃。但是如果复制机解决了贫乏问题，那么也许乌托邦就可以实现。艺术、音乐、诗歌将会繁荣，人们将自由地寻求他们最喜爱的梦想和希望。

另一方面，没有了贫穷和金钱的激发因素，就有可能导致一个自我纵容的、落入最低水平的退化的社会。除了只有一小部分最喜欢艺术的人在写诗外，其他的人，批评家声称，将成为无所事事的流浪者和懒鬼。

甚至乌托邦使用的定义也成了问题。例如，社会主义的原则是“各尽所能，按劳分配”。共产主义的原则是“各尽所能，各取所需”。

但如果复制机是可能实现的话，那么这句经典之语就仅仅变成：“各取所欲。”

然而，这里有第三种方法看待这个问题。根据洞穴人原理，人的基本个性在过去1万年没有多少变化。回到那个时候，这里没有工作这样的事情，人类学家说，原始社会很大程度上是公社的，同等地分享货物和艰难。日常的节奏不是由工作和薪水支配的，因为这两者都不存在。

然而那时的人并没有变成流浪者，原因有几个。首先，他们会饿死。不想做份额内的工作的人将会被部落扔出去，他们将会很快死亡。第二，人们为他们的工作而感到骄傲，甚至在他们的工作中发现意义。第三，存在巨大的社会压力需保持社会有生产能力的人数。有生产能力的人可以结婚，把他们的基因传给下一代，而流浪者的基因通常随他们死去。

因此，为什么当复制机发明了，每个人能够有他们想要的东西以后还能过着积极的生活呢？首先，复制机能保证每个人不挨饿。但是第二，大多数人会继续工作，因为他们为自己的技能骄傲，并在劳动中发现意义。但是第三个原因，没有社会压力，对个人自由的限制就很难维持。代替社会压力，也许需要加强教育，改变人们对工作和报酬的态度，这样复制机就不会滥用了。

幸运的是，因为进展很慢，复制机是100年左右以后的事，社会有充足的时间辩论这项技术的价值和意义，适应这个新的现实，这样社会就不会瓦解了。

更可能的是，第一台复制机将非常昂贵。正如麻省理工学院机器人专家罗德尼·布鲁克斯（Rodney Brooks）说的：“纳米技术，很像照相平版印刷术一样，非常昂贵，将在严格控制的情况下发展，而不是一项随随便便的大量的市场技术。”不受限制地免费使用纳米技术的问题将不会成为一个大问题。由于这些机器完善和复杂，因此在它们创造出来之后，需要几十年时间其价格才能降下来。

我曾经和一位未来学家有过一次有意思的谈话，他花了毕生的精力构思未来的轮廓。首先，他告诉我，他怀疑第2章中提到的奇异性理论，他看到人的性质和社会的动力学是非常杂乱的、复杂的，不可能用一个简单的、整洁的理论就能预计。但是他也承认，纳米技术的显著进展也许最终能产生一个物质极大丰富的社会，特别是用复制机和机器人。因此我问他：当日用品几乎是免费供应的时候，社会会怎样呢？社会最终是如此富裕，还需要工作吗？

他说，有两件事会发生。第一，他认为，将会有足够的财富保证每一个人有像样的最低的收入，即使他不工作。因此，大概会有一小部分

人变成永久的懒汉。他预见会有一个永久性的社会安全网。这也许是不需要的，但它是不可避免的，特别是如果复制机和机器人满足了我们所有的物质需要。第二，他认为，这将会激发一种勤奋精神的革命，从而弥补这种情况。没有了陷入贫困和破产的恐惧，更勤奋的人会有更多的主动性承担额外的风险为人类创造新的工业和新的机会。他预见，当创造精神从破产的恐惧中释放出来时，一个新的社会文艺复兴时期将会出现。

在我自己的领域物理学中，我看到我们大多数研究物理学的人不是为了钱，而是为了纯粹的发现和创新的快乐。经常，我们放弃其他领域有利的工作，因为我们想要追寻梦想，而不是金钱。我知道的艺术家和知识分子也有同样的感觉，他们的目标不是聚积越来越多的银行存款，而是创造和使人的精神更高贵。

就我个人而言，如果到2100年社会变得如此富有，以致我们被物质财富所包围，我感到社会的反应也会是这样。一部分人将形成拒绝工作的永久性的人群。其他的人从贫困的约束中解放出来，追寻创造性的科学和艺术成就。对他们来说，创造、创新和艺术的纯粹的快乐将压倒物质世界的引诱。而大部分的人之所以将继续工作和有用，只是因为它是我们基因遗传的一部分，是洞穴人原理在我们身上起作用。

但是这里有一个即使是复制机也不能解决的问题。这就是能源问题。所有这些神奇的技术需要大量的能量驱动它们。这些能量从哪来呢？

5．能源的未来　来自星星的能量

石器时代并不是因为缺乏石头结束的。而石油时代在世界用完石油之前就早已结束了。

——詹姆斯·坎顿（James Canton）

在我看来，核聚变可与朦胧的史前历史上火的诞生带给人类的礼物相提并论。

——本·博瓦（Ben Bova）

星星是诸神的能源。当阿波罗乘坐在喷火的马拉的战车上驰骋在天空中时，他用太阳的无限能量照亮了天空和大地。只有宙斯本人才能与他的能量匹敌。塞默勒（Semele），宙斯众多的凡间情人之一，乞求想看看他原来的模样时，他勉为其难地同意了。结果耀眼的、宇宙的能量爆发将她烧成灰烬。

在这一世纪，我们将利用星星的能源，诸神的能源。就眼前来说，这意味着将开创一个太阳能和氢能的世纪，代替石油燃料的世纪。但是从长远来看，这意味着利用聚变能和外层空间的太阳能。物理学的进一步进展将会开创一个磁力的时代，由此汽车、火车，甚至溜冰板将乘坐在磁垫上在空中飘浮而过。我们的能量消耗将急剧地降低，因为汽车和火车几乎所有的能量只是消耗在克服道路的摩擦上。



石油将用完吗？

今天我们的行星完全依赖于石油、天然气和煤这些形式的化石燃料。世界消耗的能源总共大约14万亿瓦，其中33%来自石油，25%来自煤，20%来自天然气，7%来自核能，15%来自生物质能和水电，只有0.5%来自太阳能和其他可再生能源。没有了化石燃料，世界的经济将会停滞不前。

一个清楚地看到石油时代将会结束的人是金·哈伯特（King Hubbert）先生，他是壳牌石油公司的石油工程师。在1956年，哈伯特对美国石油研究所作了一次意义深远的讲话，作了一个令人担忧的预

计，在当时受到同事们的普遍的嘲笑。他预计美国的石油储备消耗是如此之快，以致很快50%的石油将从地底下开采出来，从而在1965年到1971年之间将会出现不可逆转的石油萧条的时代。他预见，美国的石油总储量可以画成一个钟形的曲线，到那时储量将处在顶点附近。从那时起，情况将会每况愈下。这意味着石油将越来越难以提取，因此想象不到的事情将会发生：美国将开始进口石油。

他的预计似乎有些轻率甚至奇怪和不负责任，因为美国从得克萨斯和国家的其他地方抽取大量的石油。然而石油工程师再也笑不起来了。哈伯特的预计击中下颌，正中要害。到1970年美国石油产量达到峰值，每天1020万桶（145万吨），然后就开始下降了。再也没有恢复过。今天，美国59%的石油靠进口。事实上，如果比较几十年前哈伯特绘制的曲线和一直到2005年实际的美国产量图，就会发现两条曲线几乎是相同的。

现在石油工程师面临的基本问题是：我们是处在哈伯特预测的世界石油储量峰值的顶峰吗？回到1956年，哈伯特也预测在大约50年左右全球石油产量将达到峰值。也许他又对了。当我们的孩子回顾这一世纪时，他们看待石油会像我们今天看待鲸油一样，把它们看成是遥远过去留下的不幸的遗迹吗？

我在沙特阿拉伯和整个中东作了多次讲演，谈论科学、能量和将来。一方面，沙特阿拉伯有2670亿桶石油储量，因此这个国家就好像是浮在巨大的原油的地下湖上。在整个沙特阿拉伯和波斯湾国家旅行，我看到过度的能源浪费，在沙漠中间喷出巨大的喷泉，建造巨大的人工池塘和湖泊。在迪拜，甚至有用成千吨人造雪建的室内滑雪斜坡，而室外却是闷热的天气。

但是现在石油部长担心了。在“保证石油储量”，在打消人们疑虑说在今后几十年还有充足的石油这些花言巧语背后，实际情况是很多这些权威的石油数据是欺骗性的，是“要你相信的”。“保证石油储量”听起来是权威的和确定的，让人感到宽心，但实际上这些储量常常是当地的石油部长的意愿和出于政治压力得出的。

说到能源方面的专家，我看到一个大家都粗略地一致同意的一个意见：要么世界石油产量已经处在哈伯特预测的石油产量峰值点，要么再过10年到达这个致命点。这意味着在最近的将来，可能进入不可逆转的衰落时期。

当然，石油将不会完全用完。新的油田总会发现。但是提取和精炼石油的成本将逐渐上升。例如，加拿大有巨大的焦油沙（tar sand）储存，足以供给世界今后几十年的石油，但是提取和精炼它的成本就不值得了。美国煤的储量大约可再维持300年，但是由于法律限制，提取所有这些特别的、造成气体污染物质的代价是巨大的。

此外，石油在世界政治不稳定的地区继续被发现，造成外国的不稳定。几十年来，石油价格的曲线像一个滑坡铁轨一样，2008年的峰值点达到吃惊的每桶140美元（超过每加仑4美元），然后由于经济大衰退跌落。尽管由于政治动荡、投机、谣言等原因造成石油价格有剧烈的摇摆，但有一件事情是清楚的：在未来一个长时期里，石油的平均价格将继续上涨。

这对于世界经济有深远的意义。20世纪现代文明的迅速上升催生了两件事情：廉价的石油和摩尔定律。能源价格的上升将会对世界食品的供应和控制污染造成压力。正如小说家杰里·波奈尔（Jerry Pournelle）说过：“食物和污染不是原始的问题：实际的问题是能源问题。有了足够的能源，我们想要多少食物就可以生产多少食物，如果需要的话，可以采用高强度的方法，如水耕法和温室。污染也很简单：有了足够的能量，污染可以转换成易管理的产品，如果需要的话，拆开成构成它们的产品。”

我们还面临另一个问题：在中国和印度这两个战后人口变化最大的国家里中产阶级的兴起，对石油和商品价格产生巨大的压力。他们看见好莱坞电影中的麦当劳（McDonald）汉堡包和能容纳两辆轿车的车库，也想过美国人那种浪费与过度消耗能源的生活。

近期（今天—2030）



太阳能和氢能经济

在这一方面，历史似乎在自己重复。回到20世纪，亨利·福特（Henry Ford）和托马斯·爱迪生（Thomas Edison）两个长期的朋友打赌，哪种形式的能源能为将来提供燃料。亨利·福特把赌注押在石油代替煤，内燃机代替蒸汽机上。托马斯·爱迪生则把赌注押在电气汽车上。这是一个决定性的打赌，其结果对世界的历史会有深远的影响。在一段时间里，似乎爱迪生赢了，因为鲸油极难得到。但是很快在中东和其他地方发现了廉价的石油，很快福特似乎胜了。世界从此以后不再一样。电池敌不过汽油取得的显著成功。（甚至今天，1磅汽油含有的能量大约为1磅电池的40多倍。）

但是潮流现在慢慢变了。也许在二人打赌100年之后，爱迪生将会赢。

在政府大厅和工业部门间的问题是用什么代替石油？这个问题现在还没有清楚的答案。在近期，没有化石燃料的直接替代物，很可能是一种能量的混合，没有一种形式的能源能支配另一种形式的能源。

但是最有希望的后继者是太阳能和氢能（基于可再生的技术，如太阳能、风能、水利发电和氢能）。

在目前，由太阳能电池生产电的成本是用煤生产电的价格的若干倍。但是太阳能和氢能的价格由于技术稳定进展会逐渐下降，而化石燃料的价格在继续慢慢上升。估计在10年到15年左右，两条曲线会相交。然后，市场将会决定其余的事情。



风能

在近期，可再生能源如风能是一个大赢家。在世界范围内，风所产生的能量从2000年的170亿瓦上升到2008年的1210亿瓦。风能曾经被认为是一种次要的能源，现在越来越增加了它的重要性。风力涡轮机技术的最近进展增加了风电场发电的效率和产量，成为能量市场上增长最快的行业。

今天的风力发电场远不是19世纪末为农场提供动力的老式风磨和磨房了。风力发电没有污染和安全问题，一个风力发电机可以产生5兆瓦的电力，足够一个小村子用了。一个风力涡轮机有一个巨大的、圆滑的叶片，大约100英尺（30.48米）长，转动时几乎没有摩擦。风力涡轮机产生电的方式和水电发电机，以及自行车发电机相同。风轮转动旋转线圈内的磁铁。旋转磁场推动线圈内的电流，产生净电流。一个大的风力发电场有100台风机，能够产生500兆瓦，可与单个烧煤的火力发电厂和核电厂产生的1000兆瓦相比。

在过去的几十年中，欧洲成了世界风力技术的领先者。但是近来，美国在风力发电上超过欧洲。在2009年，美国用风力发电仅生产了280亿瓦电。但是得克萨斯一个州就用风力生产了80亿瓦，还有10亿瓦风力发电场在建，还有更多的在研制。如果一切按计划进行，得克萨斯州将用风力生产500亿瓦电，满足这个州2400万人用富富有余。

中国在风力发电上将很快超过美国。它的风力发电基地计划将产生6个大的风力发电场，将具备生产1270亿瓦的能力。

尽管风能看上去越来越有吸引力，并且将无疑会在将来发展，但它不能为世界提供大批的能量。充其量，它可以成为多种能源组合中的一部分。风能面临若干问题。风能的产生是间歇性的，只有在风吹的时候才能发电，而且只在世界上的一些关键地区。此外，由于电能输送的损失，风力发电场不得不靠近城市，这又限制了它们的有效性。



能量来自太阳

最终，所有的能量来自太阳。甚至石油和煤在某种意义上也是集中了阳光，代表着几百万年前洒落在植物和动物上的阳光的能量。结果，储存在1加仑（3.79升）汽油中的集中的阳光能量比电池中储存的能量要大得多。这就是在上一世纪爱迪生面临的问题，也是今天我们面临的同样问题。

太阳能电池的作用是将阳光直接转换成电。（这个过程爱因斯坦在1905年就解释过了。当光粒子或光子打击金属时，它把电子踢出来，因此产生电流。）

然而，太阳能电池的效率不高。甚至在工程师和科学家几十年艰苦工作之后，太阳能电池的效率才达到15%。因此，研究工作沿两个方向进行。第一是增加太阳能电池的效率，这是一个非常困难的技术问题。第二是缩小太阳能公园（solar parks）的加工、安装和建造的成本。

例如，一个可能提供美国电力需要的方法是把整个亚利桑那州都用太阳能电池覆盖起来，但这是不实际的。然而，对大块撒哈拉沙漠房地产的土地权的问题突然成了热门话题，并且投资者已经在这个沙漠上建了大规模的太阳能公园以满足欧洲消费者的需要。

或者在城市里，可以将太阳能电池覆盖在屋子和建筑上以减小太阳能的造价。这样做有几方面的优越性，包括减少从中心电站传输能量的损失。问题之一是需要降低成本。粗略计算表明，你不得不花掉所有的钱才能使这些冒险有利可图。

尽管太阳能还做不到它所能承诺的，然而近来石油价格的不稳定刺激了将太阳能最终引入市场。这正在变成一个潮流。每几个月纪录就被打破。太阳能电流的产量每年增加45%，几乎每两年翻一番。在世界范围内，太阳能光伏电源装置的容量现在已达150亿瓦，仅2008年就增长56亿瓦。

在2008年，佛罗里达光电公司（Florida Power & Light）宣布了在美国的最大的太阳能电厂项目。合同是太阳能公司（SunPower）给出的，这个电厂将生产25兆瓦的电力。〔当前在美国的纪录是内华达州内利斯（Nellis）空军基地保持的，它的太阳能电厂生产15兆瓦的太阳能。〕

在2009年，总部在加利福尼亚州奥克兰的光源能公司（BrightSource Energy）宣布的计划打破了这个纪录，要横跨加利福尼亚、内华达、亚利桑那建14个太阳能电厂，生产26亿瓦电。

光源能公司的一个项目是伊万帕（Ivanpah）太阳能发电厂，由3个位于南加利福尼亚的3个热电厂组成，生产440兆瓦的电力。光源能公司还计划与太平洋天然气和电力公司（Pacific Gas）合作，在莫哈韦（Mojave）沙漠建一个13亿瓦的电厂。

在2009年，世界上最大的太阳能电池制造商，第一太阳能公司（First Solar）宣布它将在中国长城北面建世界上最大的太阳能发电厂。合同期为10年，具体计划还在酝酿之中，预计建一个巨大的太阳能联合体，含有2700万个太阳能薄膜板，将发20亿瓦的电力，或等于两个燃煤的热力发电厂，产生足够的能量供应300万个家庭。这个电厂占地25平方英里（64.75平方公里），建在内蒙古，实际上是一个更大的能源公园的一部分。中国官方说，太阳能只是这个设施的一部分，由风力、太阳能、生物质能和水电最终提供的电力为120亿瓦。

还要看这些雄心勃勃的计划是否最终能够通过环境检查和财政预算双重考验，但关键是太阳能经济已渐渐经历了巨大的改变，有很多的太阳能公司已认真地将太阳能看做与化石燃料发电厂竞争的对手。



电力汽车

因为大约一半的世界石油是用于汽车、卡车、火车和飞机，所以人们对这部分经济的改革有极大的兴趣。现在，当国家面临从化石燃料向电力过渡的历史转变时期，这里有一个竞赛看谁将控制汽车的未来。在这个转变中有几个阶段。首先是混合动力汽车，市场上已经有了，它利用电池的电力和汽油的动力的组合。这个设计使用一个小的内燃发动机解决了使用电池长期存在的一个问题：很难生产一个电池能长距离使用，也很难提供瞬间的加速。

但是混合动力汽车是第一步。例如，插入式混合动力汽车有一个功率大的电池，足以让汽车靠电力跑前50英里（80.5公里），然后转到汽油发动机。因为大多数人上下班和购物在50英里范围内，这意味着这些汽车在此期间是完全靠电力推动的。

雪佛兰沃尔特（Chevy Volt）是主要一款插入式混合动力赛车，是

由通用汽车公司（General Motor）制造的。只利用锂离子电池的跑程范围是40英里（64.4公里），加上一个小的汽油发动机的跑程范围是300英里（483公里）。

还有一款泰斯拉跑车（Tesla Roadster），是根本没有汽油发动机的。它是泰斯拉汽车公司（Tesla Motor）制造的，这是一家硅谷的公司，是唯一一家在北美完全销售系列电力汽车产品的公司。泰斯拉跑车是一个流线型的跑车，可以与任何汽油发动的汽车并驾齐驱，让电力锂离子电池不能与汽油发动机匹敌的想法休矣。

我有机会驾驶一辆两个座位的泰斯拉（Tesla），车主是约翰·亨德里克斯（John Hendricks），他是“发现频道”的母公司，“发现通讯与通信公司”（Discovery Communication）的奠基人。亨德里克斯催促我全力踩加速器检验他的车。我按照他的建议将加速器踩到底。我立刻感到一股动力在涌动。当我只用了3.9秒就达到每小时60英里时（96.6公里），我的身体沉重地靠在座位上。听工程师吹嘘全电力汽车的性能是一回事，亲自踩加速器和感受它则是另一回事。

泰斯拉的成功销售迫使主流汽车销售商在多年放弃电力汽车后拼命追上。当罗伯特·卢茨（Robert Lutz）还是通用汽车的副总裁时，他说过：“通用汽车这里的所有天才总是说锂离子技术还是10年后的事，丰田汽车也同意我们这种说法，然而，泰斯拉一出现，电力汽车一下子就繁荣了。因此我说：‘一些由不懂汽车生意的小家伙经营的很小的加利福尼亚公司能够做到的事情为什么我们做不到呢？’”

尼桑汽车公司（Nissan Motors）是第一个将完全的电力汽车介绍给普通消费者的。它的汽车叫做利夫（Leaf），跑程范围100英里（161公里），最高速度可达每小时90英里（145公里），并且是全电力汽车。

在全电力汽车之后，另一种最终出现在展厅里的车是燃料电池汽车，有时被称为是将来的汽车。在2008年6月，本田汽车公司（Honda Motor）宣布世界第一辆商用燃料电池汽车，福克斯克拉里蒂（FCX Clarity，暂译名），初次登场。它的跑程范围240英里（386公里），最高速度每小时100英里（161公里），有标准4门轿车所有的舒适装置。只用氢作为燃料，不需要汽油，也不需要充电。然而，因为氢的基础设施还不存在，所以仅在美国的南加利福尼亚用做出租。本田还开发了一款燃料电池的跑车，叫做FC运动型概念车（FC sport）。

然后在2009年，通用汽车公司在全面废除旧的管理之后，从破产中复苏，宣布它的燃料电池汽车，雪佛兰伊奎诺克斯（Chevy Equinox，暂译名），在试验期间通过了100万英里（161万公里）的测试。在过去25个月，5000人测试了100辆这样的燃料电池汽车。底特律，在引进小汽车技术和混合动力技术上长期落后于日本，现在正试图在将来获得立足之地。

在表面上，燃料电池汽车是完美的汽车。它的运行是通过氢和氧的结合，然后变成电能，仅留下水作为废物。它不产生一丝一毫的烟雾。看着燃料电池汽车的排气管会有一种奇怪的感觉。从尾部排出的不是呛人的有毒的烟雾，而是无色的、无味的水滴。

“你把手放在排气管之上，排出的仅仅是水。这种感觉真酷。”迈克·施维布勒（Mike Schwable）说，他驾驶伊奎诺克斯（Equinox）测试了10天。

燃料电池技术并不是新的东西。其基本原理早在1839年就论证了。美国宇航局（NASA）用燃料电池为它的空间探测仪器提供能源已有几十年了。新的问题是制造商增加产量和降低成本的决心。

燃料电池面临的另一个问题是困扰亨利·福特的同样问题，在他销售T型轿车时，批评家声称汽油是危险的，人会在可怕的汽车事故中死去，在碰撞中活活烧死。此外，还必须在几乎每个街区有一个加油站。批评家所说的这些都是对的。每年有几千人死于可怕的汽车事故，并且我们看到加油站到处都是。但是汽车是如此便利和有用，因此人们忽视这些事实。

现在对燃料电池汽车也提出了同样的反对意见。氢燃料是不稳定的和爆炸性的，在每个街区必须建氢加油站。很可能批评家又对了。但是一旦氢的基础设施到位，人们将发现没有污染的燃料电池汽车是如此之方便，结果他们也会忽略这些事实。今天，全美国仅有70个燃料电池汽车的加油站。因为燃料电池汽车的跑程大约每加一次燃料可跑170英里（274公里），这意味着在行驶中要注意燃料表。但是这种情况将会逐渐改变，特别是如果燃料汽车的价格由于批量生产下降和技术取得进展的话。

但是电力汽车的主要问题是电池不是从无中生有产生能量的。首先必须对电池充电，而这些电通常是来自烧煤的火力发电厂。因此，尽管电力汽车是没有污染的，但最终的能源来自化石燃料。

氢不是纯粹的能量产品，而是一个能量的载体。首先必须产生氢气。例如，必须用电将水分离成氢和氧。因此，尽管电力汽车和燃料电池汽车会给我们一个没有烟雾的未来，问题是它们使用的能量大部分来自燃烧煤。最终，我们是在极力反对热力学第一定律：物质和能量的总和不能消灭，也不能从无中创造。你不付出也就得不到。

这意味着，在从汽油到电的转换过程中，需要用完全新形式的能源代替烧煤的发电厂。



核裂变

产生能量，而不只是转换能量的一种可能性是靠分裂铀原子。其优点是核能不像燃煤和燃油的发电厂那样产生大量的温室气体，但是技术的和政治的问题约束了核能的发展几十年。美国最后一个核电站是在1977年开始建造的，是在1977年的三哩岛（Three Mile Island）致命的事故葬送了核能的商业前途之前。1986年切尔诺贝利核电站破坏性的事故决定了核能的命运，影响了整整一代人。核能在美国和欧洲枯竭了，只在法国、日本和俄国由于得到来自政府的补贴还继续存在。

核能的问题是，在分裂铀原子时将产生大量的核废料，这些核废料几千万年到几亿年都是放射性的。通常1千兆瓦的反应堆在一年之后产生大约30吨的高级核废料。它的放射性是如此之强，以致确实能在黑暗中发光，必须储存在特殊的冷却池里。美国有大约100个商业反应堆，每年产生几千吨的高级核废料。

这个核废料引起问题是由于两个原因。首先，甚至在反应堆关闭之后它仍然是热的。如果冷却水意外关闭了，像三哩岛那样，那么反应堆核心开始熔化。如果这个熔化的金属接触到水，就能引起蒸汽爆炸，将反应堆炸开，将成吨的高级放射性碎片抛到空中。在最恶劣的9级核事故中，必须立刻将大约几百万人撤离到距离反应堆10到50英里（16—80公里）的地方。印第安半岛反应堆仅在纽约城北边24英里（38.6公里）之处。一个政府部门的研究估计印第安半岛的核反应堆发生事故可能会造成1万亿美元的财产损失。在三哩岛，反应堆的重大事故在几分钟内就能使东北部瘫痪。由于工人们在反应堆核心达到二氧化铀熔点仅仅30分钟之前将冷水重新引进核心，灾难才勉强得以转移。

在基辅外的切尔诺贝利，情况更糟。安全机械装置控制杆被工人手工关闭了。一个小的能量涌出使反应堆失去控制。当冷水突然遇到熔化的金属时，它产生蒸汽爆炸，把整个反应堆顶部掀掉，将反应堆大部分核心抛到空气中。很多送去控制事故的工人最终死于可怕的放射性烧伤。由于反应堆大火的燃烧失去控制，最后调用了红军空军。有特殊屏蔽的直升机被送去向燃烧的反应堆喷洒掺硼酸的水。最后，反应堆核心用固体混凝土包住。甚至到了今天，这个反应堆核心仍然不稳定，并且继续产生热核放射性。

除了垮塌和爆炸问题，还有废品处理问题。把废品放在哪呢？让人尴尬的是，进入原子时代已50年了，仍然没有答案。在过去，有关这些

废物的处理存在一连串的错误，让我们付出极大代价。最初，美国和俄罗斯把一些核废物简单地倒到海洋中，或埋在浅的地坑中。在乌拉尔山，在1957年一个钚废料甚至灾难性地爆炸了，要求大量人员的撤离，并且在斯维尔德洛夫斯基和车里雅宾斯克之间400平方英里（1036平方公里）的区域造成根本性的损伤。

最初，在20世纪70年代美国想把高级核废料埋在堪萨斯州里昂的盐矿里。但是后来发现这个盐矿不能用，因为它们已经到处是油气开采人钻的大量的洞。美国被迫关闭里昂这个地点，受到令人尴尬的挫折。

在后来的25年中，美国花了90亿美元研究和在内华达州建造巨大的尤卡山（Yucca）废料处理中心，结果在2009年巴拉克·奥巴马（Barack Obama）总统把它取消了。地质学家证明尤卡山这个场地不能容纳核废料1万年。尤卡山这个场地从未开放，使核电厂的商业运营者没有永久的废料存储设施。

目前，核能的前景不清。华尔街对于是否投资几十亿美元建一个新的核电站举棋不定。但是工业界声称最近一代的核电厂比以往要安全。同时，能源部仍然坚持将核能作为一种选择。



核扩散

然而，巨大的威力也随着带来巨大的危险。例如在挪威神话里，海盗崇拜欧丁（Odin）神，它靠智慧和正义统治仙宫。欧丁掌控着一个神的兵团，包括英雄托尔（Thor），北欧神话中的雷神，他的荣誉和勇敢是任何战士最珍爱的品质。然而，还有洛基（Loki），北欧神话中的火神，他被嫉妒和仇恨所毁灭。他总是诡计多端和善于欺骗及谎言。最终，洛基协同天上的巨人们进行了最后的黑暗与光明的战斗。这是一场史诗般地导致世界毁灭的战斗。

今天的问题是国家间的嫉妒和仇恨可能造成核毁灭。历史证明，当一个国家掌握了核能的商业技术，如果它有要求和政治意向，它就可以将这些技术转变成核武器。其危险是核武器技术将会扩散到世界上最不稳定的地区。

在第二次世界大战中，只有地球上的大国有资源、有知识、有能力制造原子弹。然而，在将来，随着新技术的引进，铀浓缩价格的下降，门槛会显著下降。我们面临的危险是：更新的和更廉价的技术可能会让

原子弹落入危险分子的手中。

制造原子弹的关键在于要用大量的铀矿和提纯它。这意味着要将占天然铀矿99.3%的铀238与占0.7%的适合造原子弹的铀235分离开来。这两种同位素在化学上是相同的，分离它们的唯一可靠方法是利用它们的重量之差，铀235比铀238轻1%。

在第二次世界大战期间，分离这两个铀同位素的唯一方法是繁重的气体扩散的过程：将铀制成气体（六氟化铀），然后迫使它们跑过几百英里的管道和隔膜。在这个行程之后，铀235轻，跑得快，而重的铀238则落在后面。在含有铀235的气体提取之后，这个过程重复，直到铀235浓缩的级别从0.7%达到90%，成为炸弹级的铀。但是推动气体需要大量的电力。在战争期间，美国总电力供应的一个很大部分为了浓缩目的输入到橡树岭（Oak Ridge）国家实验室。浓缩设备十分巨大，占地200万平方英尺（18.58万平方米），雇用12000个工人。

在二战后，只有美国和俄罗斯两个超级大国能够积聚大量的核武器库存，多至3万件，因为它们掌握了气体扩散的技术。但是今天，只有33%的世界浓缩铀来自气体扩散。

第二代浓缩铀厂利用更完善的、更廉价的技术：超高速离心器，结果造成世界政治的巨大改变。超高速离心器能将含有铀的舱转动的速度达到每分钟10万转。这就加大了铀235和铀238的1%的质量差别。最终，铀238沉到底部。在转动很多次以后就可以从管道的顶部取出铀235。

超高速离心器的能量效率是气体扩散的50多倍。世界上大约54%的铀是用这种方法提纯的。

有了超高速离心器技术，只需要1000台超高速离心器连续运转一年就能产生能够制造一枚原子弹的浓缩铀。超高速离心器技术容易被窃取。在历史上发生的一起最严重的违背核安全的事件中，不引人注意的原子工程师卡迪尔汗（A.Q.Khan）窃取了超高速离心器和原子弹构件的蓝图，出卖它赚取利润。在1975年，当他在荷兰阿姆斯特丹为美英德荷铀浓缩公司集团（URENCO）工作时，这个项目是英国、西德和荷兰建立为欧洲反应堆提供铀的，他将这些秘密的蓝图给了巴基斯坦政府，他被当做民族英雄受到热烈的欢呼，他还被怀疑将这类的信息卖给了萨达姆·侯赛因和伊朗政府、北朝鲜与利比亚。

巴基斯坦利用这个窃取的技术生产了小量的原子武器，于1998年开始试验。随后，巴基斯坦和印度之间的核对抗开始，这两个国家都爆炸了一系列的原子弹，几乎导致这两个国家的核对抗。

也许是因为购买了来自卡迪尔汗的这个技术，据传说伊朗加速了它的核计划，到2010年建造了8000个超高速离心器，还打算再建3万多个。这就加大了中东其他国家要制造它们自己的原子弹的压力，导致了

进一步的不稳定。

21世纪地缘政治也许会改变的第二个原因是又一代浓缩技术——激光浓缩——出现了，可能比超高速离心器更廉价。

如果考察这两个铀同位素的电子壳层，显然是相同的，因为核中有相同的电荷。但是非常仔细地分析电子壳的平衡，就会发现在铀235和铀238的电子壳之间有细小的能量差别。通过照射极为细微调试的激光束，可以从铀235的电子壳中把电子踢出来，但是铀238却不能。一旦铀235电离了，就很容易用电场从铀238分离出来。

但是这两种同位素之间的能量差别是如此之小，以致很多国家都试图利用这个技术却没有成功。在20世纪80年代和90年代，美国、法国、德国、南非和日本都试图掌握这个困难的技术，但相继失败。在美国，一次尝试涉及了500位科学家和20亿美元。

但是在2006年，澳大利亚科学家宣布，他们不仅解决了这个问题，而且还试图将其商业化。因为铀燃料30%的成本来自浓缩过程，澳大利亚西勒克斯公司（Silex）认为这项技术会有市场。西勒克斯公司甚至和通用电气签了一个合同开始将这项技术商业化。最后，他们希望用这项技术生产世界上多达三分之一的铀。在2008年，通用电气的日立核能公司（Hitachi Nuclear Energy）宣布计划在2012年前在北卡罗来纳州威尔明顿（Wilmington）建第一个铀商业浓缩厂。这个厂在一个面积为1600英亩（9712亩）的场地上占地200英亩（1214亩）。

对于核能工业来说，这是一个好消息，因为它将使未来几年浓缩铀的成本下降。然而，其他人担心，因为这项技术扩散到世界不稳定地区只是一个迟早的问题。换句话说，我们必须抓住机会签订条约限制和控制浓缩铀的流动。除非我们控制这项技术，否则核炸弹将会继续扩散，甚至落入恐怖分子集团手中。

我的一个熟人是已故的西奥多·泰勒（Theodore Taylor），他为五角大楼设计最大的和最小的核弹头，具有少有的声望。他的一项设计是“戴维·克罗克特”（Davy Crockett），仅重50磅（22.7千克），但是可以将一个小的原子弹扔向敌人。泰勒是一位雄心壮志的核弹的倡导者，曾参加“猎户座”（Orion）项目，目的是用核弹推动太空船飞向最近的恒星。他计算，靠着不断地从尾部扔出核弹，产生的冲击波将推动这样的太空船接近于光速。

我曾经问他为什么不再设计核弹，而转为研究太阳能。他告诉我，他常常做噩梦。他感到，他的工作是核武器，最终导致一件事情：生产第三代原子弹头。（20世纪50年代的第一代弹头很大，很难携带到目标。20世纪70年代的第二代弹头小，而且紧凑，在导弹的鼻子尖端的锥形体中可以安装10枚这样的弹头。但是第三代弹头是“设计家炸弹”，专门设计在各种环境下工作，如森林、沙漠甚至外层空间。）这些第三代

炸弹之一是微型原子弹，它是如此之小，以致恐怖分子可以在手提箱中携带它们，用它来毁灭整个城市。一想到他一生的工作有一天可能被恐怖分子利用，这个想法使他像鬼魂缠身一样感到害怕。

中期（2030—2070）



全球变暖

到本世纪中期，化石燃料经济的影响将充分展现：全球变暖。现在无可争辩的是地球正在变暖。在上一个世纪，地球的温度上升了1.3华氏度（约0.3℃），并且上升的步伐还在加快。我们到处都可见到明明白白的迹象：

- 北极冰的厚度仅在过去50年就惊人地减少了50%。这些北极冰的大部分温度仅在冰点之下，所以漂浮在水上。因此，它对海洋温度的微小变化很敏感，像矿井里的金丝雀一样，是一个早期警告系统。今天，北极冰盖的一部分在夏季的月份里消失，到了2015年在夏季也许会整个消失。到本世纪末北极冰盖可能会永久消失，将会改变海洋的流动和环绕地球的空气的流动，从而干扰世界的气候。
- 在2007年格陵兰的冰架缩小了24平方英里（62.2平方公里）。在2008年这个数字跳到71平方英里（183.9平方公里）。〔如果所有的格陵兰的冰融化，全世界海平面的高度要升高20英尺（6.1米）〕。
- 大块的南极洲的冰在稳定了几万年之后逐渐破裂了。在2000年，一块大小为康涅狄格州的冰破裂了，含有4200平方英里（10878平方公里）的冰。在2002年，一块罗德岛大小的冰从特怀特冰川（Thwaites Glacier）脱落开。〔如果所有的南极洲的冰融化，全世界海平面将会升高大约180英尺（54.86米）〕。
- 海平面每垂直升高1英尺（30.48厘米），海洋的水平面扩大约100英尺（30.48米）。在上一世纪海平面已升高8英寸（20.32厘米），主要是海水温度升高膨胀引起的。根据联合国报告，到2100年海平面可能升高7—23英寸（17.78—58.42厘米）。根据科罗拉多大学北极和高山研究所科学家的说法，到2100年海平面可能升高3—6英尺（0.95—1.83米）。地球海岸线的地图将会逐渐改变。
- 在18世纪后期已经开始可靠地记录温度。1995年、2005年和2010年名列曾经记录过的最热的年份。2000年到2009年是最热的10年。同样，二氧化碳的水平也急剧升高。它们是10万年以来

最高的水平。

- 当地球温度升高时，热带疾病逐渐向北迁移。最近由蚊子携带的西尼罗河（West Nile）病毒的传播也许是将要发生的事情的前兆。联合国官员特别关心疟疾向北扩散。通常，很多有害昆虫的卵在每个冬天当土壤冻结之后就死掉了。但是随着冬季季节的缩短，这意味着危险的昆虫将无情地向北传播。



二氧化碳——温室气体

根据联合国政府间气候变化专家组的研究，科学家有90%的把握相信全球变暖是由人类活动造成的，特别是通过燃烧石油和煤产生的二氧化碳。阳光很容易通过二氧化碳。但是太阳光加热地球产生的红外辐射却不能轻易通过二氧化碳。来自太阳光的能量不能消散在太空中，它被截留了。

我们在温室或汽车里也会看到类似的效应。阳光温暖了空气，玻璃阻挡了热量的散失。

不祥的是，二氧化碳的排放量呈爆炸式增长，特别是在上一个世纪。在工业革命之前，空气中的二氧化碳含量是270 ppm（一百万分之270）。今天它剧增到387 ppm。（在1900年，全世界消耗1.5亿桶石油。在2000年上升到280亿桶，上升了185倍。在2008年，94亿吨二氧化碳从化石燃料和砍伐的森林燃烧中散发到空气中，只有50亿吨回收到海洋、土壤和植物中。其余的将在未来的几十年停留在空气中，加热地球。）



访问冰岛

地球温度的升高并不是意外的事情，可以通过分析冰的冰芯证明。通过深深的钻探北极古代的冰，科学家能够提取几千年前的空气泡。通

过化学分析这些气泡中的空气，科学家能够重新推想60万年前的温度和大气中二氧化碳的含量。很快，他们就能确定100万年前的气候条件。

我有机会亲眼看到这些。我曾经在冰岛首都雷克雅未克（Reykjavik）作了一次讲演，有幸访问了进行冰芯分析的冰岛大学。当飞机在雷克雅未克着陆时，首先看到的是雪和参差不齐的岩石，很像月球的荒凉的地形。尽管贫瘠和可怕，这个地形使北极的这个地方成了一个分析地球几十万年前气候的理想地点。

当我访问他们的保持在冰冻温度下的实验室时，我必须通过厚厚的冷藏室的门。一旦进入里面，我看到一架一架的放有长金属管的架子，每根管直径大约1.5英寸（3.81厘米），长大约10英尺（3.05米）。每一根空心管曾钻透到一条冰河的冰的深处。当管子穿透冰的时候，它捕捉了几千年前落下的雪的样品。当管取掉之后，就可以仔细考察每一个的冰的成分。开始时我看到的是一个长的白冰柱。但是经过仔细考察，可以看到这块冰有不同颜色的细带构成的条纹。

科学家必须使用各种技术确定它们的年代。有些冰层含有说明重要事件的标记，如火山喷发释放出来的烟灰。因为这些喷发的日期是精确知道的，可以利用这些确定这个冰层有多大年纪。

这些冰芯然后切成各种薄片进行检测。当我在显微镜下凝视一个薄片时，我看到小的、细小的气泡。我激动地认识到，我看到的气泡是在几万年前，甚至是在人类文明出现之前存留下来的。

每个气泡中二氧化碳的含量很容易测量。但是计算这些冰开始沉积时空气的温度要困难得多。（为了做到这一点，科学家分析气泡中的水。水分子可以包含不同的同位素。当温度降低时，较重的水的同位素比普通的水分子浓缩得快。因此，通过测量较重的同位素的量，就可以计算水分子浓缩时的温度。）

最后，在耐心分析了成千个冰芯的含量之后，这些科学家得出了一些重要的结论。他们发现温度和二氧化碳的级别是平行振荡的，像两个过山车一样，在几千年的时间里一起同步运动，当一条曲线上升或下降时，另一条曲线也同样上升或下降。

最重要的是，他们发现仅在上一个世纪里温度和二氧化碳含量发生了突然的升高。这是很不寻常的，因为在过去几千年间大部分波动是缓慢发生的。科学家断定，这个不寻常的升高不是自然加热过程造成的，而是直接说明了人类的活动。

还有其他办法说明这个突然地升高是由人类引起的，而不是自然地循环。计算机模拟现在已经进展到可以模拟存在人类活动和不存在人类活动地球的温度。如果没有人类文明产生的二氧化碳，我们发现一个相当平的温度曲线。但是有了人类的活动，我们能够说明，温度和二氧化碳都应该有突然的升高。预计的升高和实际的升高完全吻合。

最后，可以计算落在地球表面每一平方英尺（0.093平方米）上的日照量。科学家也能计算从地球反射到外层空间的热量。通常，我们预期这两个量是相等的，输入等于输出。但是实际上，我们发现当前此能量的净余量是使地球加热。如果计算人类活动产生的能量就会发现完全吻合。因此，是人类的活动引起当前地球加热。

不幸的是，即便我们突然停止产生任何二氧化碳，已经释放到大气中的气体也足以在未来的几十年中使地球继续加热。

其结果是，到了本世纪中期，情况可能会变得可怕。

科学家绘制了如果海平面继续升高，到本世纪中期以后沿海城市会变成什么样子。沿海城市可能消失。曼哈顿的大部分不得不撤离，华尔街将在水下。政府将不得不决定哪些大城市和首都值得保留，哪些没有希望保留。有些城市有可能通过建造完美的堤坝和水门保留。其他城市可能注定没有希望保留，只好淹没在海中，造成大量的居民的迁移。由于世界上大多数商业和人口集中的地方靠近海洋，因此可能对世界经济造成灾难性的影响。

即便是一些城市能够挽救下来，却仍然存在危险，大风暴可以将涌浪送到城市，使基础设施瘫痪。例如，在1992年巨大的风暴涌浪淹没了曼哈顿，造成新泽西的地铁系统和火车瘫痪，使经济陷入了停顿。



淹没孟加拉国和越南

政府间气候变化专家组的报告隔离出3个有潜在灾害的热点地区：孟加拉国、越南湄公河三角洲和埃及尼罗河三角洲。

最坏的情况是在孟加拉国，这个国家即使在没有全球变暖的情况下也经常遭受暴风雨引起的洪水泛滥。这个国家大部分是平坦的，并处于海平面的水平。尽管在过去几十年这个国家收获颇丰，但仍然是地球上最贫穷的国家之一，而它的人口密度最高。（它的人口为1.61亿，与俄罗斯人口相当，但土地面积只有俄罗斯的1/120。）如果海平面升高3英尺（91.44厘米），它的一半土地将被永久淹没。在这里自然灾害几乎每年都发生，但是在1998年9月，世界惊恐地见证了也许会成为经常发生的事情的预演。汹涌的泛滥淹没了这个国家的2/3，几乎在一夜之间让3000万人无家可归；1000人死亡，6000英里（9656公里）的道路被毁。这是在现代历史上最恶劣的自然灾害之一。

另一个将会被海平面升高毁坏的国家是越南，其中湄公河三角洲最为脆弱。到本世纪中期，这个国家的8700万人口可能会面临它的主要粮食生产区域的崩溃。越南一半的稻米是在湄公河三角洲生长的，它是1700万人的家，海水升高将会将这个区域的大部分淹没。根据世界银行的估计，如果到本世纪中期海平面升高3英尺（91.44厘米），整个人口的11%将要迁移。湄公河三角洲将会被盐水淹没，永久性地毁坏了这个地区肥沃的土壤。如果洪水使越南几百万人逃离家园，很多人将会蜂拥到胡志明市避难。但是这个城市的1/4也将在水下。

在2003年五角大楼委托全球商业网（Global Business Network）进行了一项研究表明，在最坏的情况下，由于全球变暖引来的混乱可能会扩散到全世界。当几百万难民穿过边界，政府可能失去任何权威和崩溃，因此国家可能陷入抢劫、暴动和混乱的局面。在这种绝望的情况下，当国家面临几百万绝望的人群流入这种前景时，可能会诉诸核武器。

“可以预想巴基斯坦、印度和中国，都武装有核武器，会在边境上就难民、进入共享的河流和可耕土地上发生冲突。”报告说。彼得·舒瓦茨（Peter Schwartz）是全球商业网的奠基人和五角大楼研究的主要作者，他向我透露了这种情景的细节，他告诉我最大的热点地区是在印度和孟加拉国之间。在孟加拉国最严重的危机时刻，多至1.6亿的人可能被赶出家园，成为人类历史上最大的移民。当边界崩溃、地方政府瘫痪、大量暴乱发生时，紧张可能迅速加剧。舒瓦茨认为国家可能使用核武器作为最后的手段。

在最坏的情况下，温室效应可能靠自身产生。例如，北极地区冻土地带的融化可能会从腐烂的植物中释放几百万吨的沼气。在北半球冻土地带覆盖了几乎900万平方英里（2331万平方公里）的土地，含有自几万年前最后一次冰河时代以来的冻结的植物。这些冻土地带含有比大气还要多的二氧化碳和甲烷，对世界的气候产生巨大的威胁。此外，甲烷气体是比二氧化碳更致命的温室气体。它在大气中停留的时间不长，但是比二氧化碳引起更大损伤。如此多的甲烷气体从融化的冻土地带释放出来将引起温度迅速升高，从而引起更多甲烷气体的释放，引起全球变暖的循环失控。



技术解决办法

这种情景是可怕的，但是还没有到达不可挽回的地步。控制温室气体的问题实际上很大程度是经济和政治问题，而不是技术问题。二氧化碳产生是和经济活动一致的，因此也是和财富一致的。例如，美国产生的二氧化碳大约占全世界的25%。这是因为美国的经济活动大约占全世界的25%。在2009年，在产生温室气体方面中国赶上了美国，这主要是因为其经济的爆炸式的增长。这也正是一些国家非常勉强地对待全球变暖问题的原因：因为它干扰了经济活动和繁荣。

已经设计了各种方案解决这个全球危机，但是最终，迅速修复还是不够的。只有消耗能量的方式发生重大变化才能解决这个问题。一系列科学家提出了一些技术方案，但是都没有得到广泛的承认。这些建议包括：

- 将污染物质送到大气中。一个建议是将火箭发送到大气中，释放二氧化硫等污染物质，以便把太阳光反射到太空中，从而给地球降温。实际上，诺贝尔奖获得者保罗·克鲁岑（Paul Crutzen）主张，以“世界末日装置”把污染射入太空，为人类停止全球变暖提供一条最后的逃生通道。这种观点起源于1991年，科学家们在仔细监测菲律宾皮纳图博（Pinatubo）火山的巨大爆发时发现，100亿吨的尘埃和碎屑被抛进了上层大气，导致天空变暗，全球平均温度下降1℉（华氏度，约0.25℃），并由此可能计算出需要多少污染物才能降低地球温度。虽然这是一个严肃的提议，一些批评家仍表示怀疑，仅依靠这个提议能否解决问题。人们还不太清楚大量污染物是如何影响全球温度的。也许好处是短暂的，或者无意产生的副作用比原有问题还要严重。比如，在皮纳图博火山爆发后，全球降水量曾出现突然下降现象；如果实验出错，也同样会造成大规模的旱灾。成本估算显示，可能需要1亿美元进行现场试验。由于硫酸盐气溶胶（sulfate aerosols）的影响是暂时的，定期把大量硫酸盐气溶胶注入大气层可能每年至少耗费80亿美元。
- 生成藻花。另一条建议是把铁基化学物倾倒到海洋里。这些矿质养分将使海藻在海洋中茁壮成长，反过来又会增加被海藻吸收的二氧化碳的量。然而，当位于加利福尼亚的浮游生物公司（Planktos）宣布其将单方面采用铁私自给南大西洋部分海域施肥，希望有意引起浮游藻花大量繁殖以吸收空气中的二氧化碳的决定之后，旨在管制向海洋倾倒垃圾的《伦敦公约》各契约国对此发布了一份《关注声明》。另外，联合国某组织要求延缓这样的实验。当浮游生物公司（Planktos）资金耗尽时，该实验也同时终止了。
- 碳封存。另一种可能性是采用碳封存，即从燃煤火力电厂排放的二氧化碳被液化，然后与环境隔离的过程，可能采用地下埋藏。这种方法原则上是可行的，但却是一个耗资巨大的过程，而且也不能清除已经进入大气的二氧化碳。2009年，工程师对碳封存首次重大试验进行严密监测。1980年始建于西弗吉尼亚州的大型发

电厂“山地人”（Mountaineer）被改型后能够把二氧化碳从环境中隔离开来，这是美国第一座进行碳封存试验的燃煤发电厂。在地下7800英尺（2377米）注入液化气体，最后进入白云石层。液体最后形成一个30—40英尺（9.15—12.19米）高、数百码长的巨块。该电厂的所有者，美国电力公司（American Electric Power），计划在2—5年内每年注入10万吨的二氧化碳。这只是该电厂年排放量的1.5%，但是最终该系统可以捕获的二氧化碳排放量可达90%。最初的成本约为7300万美元。如果成功，那么该模型可以被迅速推广到其他电厂，如附近4座60亿瓦产能的大型燃煤电厂（该地区因此被称为“百万瓦特之谷”）。未知事项很多：如二氧化碳最终是否迁移，气体是否与水结合并可能产生污染地下水的碳酸等等，都不是很清楚。然而，如果该项目获得成功，那么它就可能成为应对全球变暖问题混合技术的很好组成部分。

- 基因工程。另一条建议是采用基因工程创造可以吸收大量二氧化碳的具体生物形式。克雷格·文特尔（J.Craig Venter）是该方法的热心发起人，他因提前数年首次开发出对人类基因组成功进行排序的高速技术而获得美名和财富。他说：“我们把基因组看成是细胞的软件或操作系统。”他的目标是改写那个软件，从而对微生物进行基因改良，或者重新建立基因，这样，微生物就可以吸收燃煤电厂排放的二氧化碳并将其转化为有用的物质，如天然气。他指出：“在我们的地球上存在着数千种，甚至数百万种知道如何做到这一点的生物体。”问题是我们要对它们进行修改，让它们提高产量，并在燃煤电厂里健壮成长。他乐观地说：“我们认为，该领域具有替代石油化学工业的巨大潜能，在十年内可能实现。”

普林斯顿物理学家弗里曼·戴森（Freeman Dyson）提出另一种变异，即创建善于吸收二氧化碳的转基因树种。他说，万亿棵这样的树可足以控制空气中的二氧化碳。在“我们能够控制大气中的二氧化碳吗？”一文中，他主张建立“速生林”的“碳库”（carbon bank），对二氧化碳的浓度进行控制。

然而，正如大规模使用基因工程的计划一样，我们必须注意其副作用。我们不能用召回缺陷车辆那样的方式去收回一个生物体。一旦进入环境，转基因生物体可能对其他生物体产生意想不到的影响，特别是当它替代了本地植物品种并打破了食物链平衡的时候。

令人遗憾的是，政治家们显然对资助这些计划缺乏兴趣。可是，总有一天，当全球变暖问题令人痛苦不堪并显现出破坏性时，政客们将不得不实施某些计划。

关键时期是接下来的几十年时间。到了本世纪中叶，我们将进入氢时代，聚变、太阳能和可再生能源等综合因素将使我们的经济不再依赖消耗化石燃料。市场力量和进步在氢技术中的结合为我们提供了解决全球变暖的长期性方案。危险时期就是现在，即在氢经济到来之前。从短期来看，化石燃料仍然是发电的最廉价资源，因此全球变暖将在数十年之后造成危险。



聚变能量

到了本世纪中叶，将出现作为游戏规则改变者的新选择，即聚变（fusion）。到那个时候，聚变就会成为所有技术性修复中最实际可行的方法，可能为这个问题提供永久性的解决方案。核裂变（fission）依靠铀原子爆裂而产生能量（同时产生大量核废料），但是聚变能量则依靠把氢原子与大量热量相融合而释放更多的能量（废料极少）。

与裂变能量不同，聚变能量释放太阳的核能。宇宙的能量源深埋在氢原子中。聚变能量照亮太阳和天空。它是群星的秘密所在。任何能够成功掌握聚变能量的人将释放无限的永恒能量。这些聚变电厂的燃料来自普通的海水。以单位重量而言，聚变释放的能量比汽油多1000万倍。一杯8盎司（226.8克）的水等于50万桶（约7万吨）石油所含的能量。

聚变（不是裂变）是大自然为宇宙供给能量的最佳方法。在恒星形成阶段，富氢（hydrogen-rich）的气状球体由于地心引力被逐渐压缩，直到它开始加热到很高的温度。当气体达到约5000万度〔随具体情况而变化〕时，气体内部的氢原子核相互猛烈碰撞，直到融合而形成氦气。在该过程中，大量能量被释放出来，导致气体燃烧。〔更确切地说，压缩必须符合被称做“劳森标准”（Lawson's　criterion）的要求，该标准规定，你必须把具有一定密度的氢气压缩到某个温度，并持续一定的时间。如果满足了密度、温度和时间这三个条件，就会有聚变反应发生，无论是氢弹、恒星或反应器中的聚变。〕

因此，关键就在于：加热、压缩氢气，直到原子核融合，释放无限的能量。

但是，以前努力控制这种宇宙力量的尝试都失败了。把氢气加热到数千万度直到质子融合形成氦气，并释放大量能量是一件非常困难的事。

此外，公众对这些主张愤世嫉俗，由于每隔20年科学家就声称聚变能量是20年之后的事情。可是在这些过于乐观的主张数十年之后，物理学家愈加相信聚变能量会最终到来，也许最早的时候是在2030年。在本世纪中叶的某个时候，我们可能就会看到乡村中布满了聚变发电厂。

由于在过去有那么多的恶作剧、欺骗行为和失败，所有公众有权对聚变持怀疑态度。回到1951年，当时美国和苏联深陷“冷战”狂乱中并且

都狂热地研发第一枚氢弹，阿根廷总统胡安·庇隆（Juan Person）以炫耀的口气和铺天盖地的媒体闪电战之势宣布，他的国家的科学家已经在控制太阳的力量方面取得重大突破。这件事点燃了媒体宣传的风暴性大火。这似乎令人难以置信，但是却成了《纽约时报》的头版新闻。庇隆总统自豪地说，阿根廷在超级大国失败的领域取得了重大科技突破。一位不知名的讲德语的科学家罗纳德·里克特（Ronald Richter）说服庇隆为他的“热测公司”（Thermotron）项目提供资金支持，该项目有望为阿根廷带来无限的能源和永恒的荣耀。

仍在为制造氢弹而与俄罗斯进行着猛烈核聚变竞赛的美国科学界公开宣称，这样的主张完全是荒诞不经的一派胡言。原子科学家拉尔夫·莱波（Ralph Lapp）曾说：“我知道阿根廷正在使用的另一种材料是什么。纯属无稽之谈。”

新闻界很快称其为“无稽之弹”。有人问原子科学家戴维·利连萨尔（David Lilienthal），阿根廷之言是否有“一丝可能”的正确性。他回答说：“一丝可能性都没有。”

在强大的压力下，庇隆只能坚守自己的立场，似乎暗示着美苏两个超级大国对阿根廷抢先一步而嫉妒不已。第二年终于到了关键时刻，庇隆的代表参观了里克特的实验室。遭受了猛烈抨击后，里克特的行为显得更加扑朔迷离又异乎寻常。当检查人员到达时，他用几罐氧气把实验室门吹开，然后在一张纸上胡乱写下“原子能”几个字。他命令员工把火药注入反应堆。得出的结论是他可能患有精神病。当检查人员把一块镭放在里克特的“辐射计数器”旁边时，什么事都没有发生，因此可以证明他的设备是骗人的。后来，里克特被逮捕了。

但是最有名的事例是有关犹他州大学两位颇受人尊敬的化学家史坦利·庞斯（Stanley Pons）和马丁·弗莱斯曼（Martin Fleischmann）的所作所为，这二位在1989年声称掌握了“冷聚变”技术，即室温下的聚变技术。他们声称已经把钯金属放入水中，然后钯金属神奇地压缩氢原子，直到氢原子聚变成氦，在桌面上释放出了太阳的能量。

很快产生了轰动效应。世界上几乎所有报纸都把这个发现放在头版。一夜之间，新闻记者都在谈论着能源危机的结束和无限能源新时代的到来。全球媒体掀起了一阵狂热，蜂拥而至。犹他州立刻批准了一项500万美元的法案，建立“国家冷聚变研究所”。甚至连日本的汽车制造商也开始捐助数百万美元推动这个新兴、热门领域的研究工作。紧接着，一些基于冷聚变的类似邪教的追随者开始涌现。

与里克特不同，庞斯和弗莱斯曼在科学界备受敬重，很高兴与其他人分享他们的成果。他们对设备和数据做了精心安排，供世人观看。

然而，情况随后变得复杂化了。由于装置过于简单，世界各地的组织试着复制这些惊人的成果。遗憾的是，多数组织未能发现能量的净释

放量，只得宣布冷聚变是个死胡同。不过，由于个别组织声称已成功地复制了该实验，这样的传说还在继续。

终于，物理学界人士参与了进来。他们对庞斯和弗莱斯曼的方程式进行分析，发现了不足之处。首先，如果他们的主张是正确的，那么应该是从水杯中猛烈喷射出中子，必定射杀了庞斯和弗莱斯曼。（在标准的聚变反应过程中，两个氢原子核猛烈碰撞，在产生能量后融合成一个氦原子核和一个中子。）如果他们的实验产生了冷聚变，那么他们应该已死于辐射烧伤。其次，庞斯和弗莱斯曼很可能发现了一个化学反应，而不是热核反应。最后，物理学家得出结论是钯金属不可能紧紧地约束氢原子，以致氢融合成氦。这是违反量子理论定律的。

可是，即使到了今天，争论尚未平息。有人时而声称已经实现了冷聚变。问题是还没有人按要求确实实现了冷聚变。毕竟，如果一辆汽车只是偶尔有用，那么制造汽车还有什么意义呢？科学是建立在可再生的、可测试的、总是能够成立的可靠的结果基础之上的。



热聚变

可是，聚变能量的优越性如此之大，以至于众多科学家已经听从了它的召唤。

比如，聚变可以使人口降到最低。它是为宇宙提供能量的较为清洁的自然之道。聚变的一个副产品是氦气，氦气实际上具有商业价值。另一个副产品是聚变室的放射性钢，最终会被掩埋掉，它仅在几十年的时间内具有轻微危害性。与一座标准的铀裂变电厂（其可以产生30吨高级别的核废料，留存时间多则数十亿年，少则数千万年）相比而言，一座聚变电厂产生的核废料是微不足道的。

另外，聚变电厂不可能遭受灾难性崩溃。而铀裂变电厂，就是由于在其核心部位含有数吨高级别核废料，即使在关机后仍会产生大量挥发性热能。最终熔化固体钢、进入地下水的正是这些残留的热量，这些热量导致蒸汽爆发，造成像电影《中国综合征》（*China Syndrome*）事故里描写的噩梦。

聚变电厂本身是安全的。“聚变危机”（fusion meltdown）一词是一种自相矛盾的说法。比如，如果某人欲关闭聚变反应堆的磁场，那么炙热的等离子就会撞击反应室的墙壁，聚变过程也就会立刻停止。所以，

聚变电厂不会发生失控的连锁反应，在出现事故时它会自行关闭。

位于圣迭戈的加利福尼亚大学能源研究中心主任法洛克·纳吉马巴蒂（Farrokh Najmabadi）说："即使聚变电厂遭受严重破坏，也无须进行人员疏散，因为围墙外1公里范围内的辐射强度就已经很低。"

虽然聚变能量的商业价值具有这么非凡的优越性，但是还存着一个小小的细节问题：即它还不存在。尚未有人已经建成一座可正常投运的聚变电厂。

但是物理学家对此仍持审慎而乐观的态度。通用原子公司（General Atomics）的大卫·E.鲍尔温（David E.Baldwin）对美国最大的聚变反应堆之一DIII-D（托卡马克装置）进行了监督，他说："十年前，有些科学家还质疑聚变的可能性，甚至怀疑在实验室里的可能性。现在我们知道了聚变确实可行。问题是它是否在经济上也是可行的。"



国家点火装置——激光聚变

在未来几年，这一切都可能发生巨大变化。

物理学家同时尝试着几种方法，经过起初几十年的失利之后，他们对最终实现聚变深信不疑。在法国有一家"国际热核实验反应堆"（ITER），得到许多欧洲国家以及美国、日本和其他国家的大力支持。在美国，有"国家点火装置"（NIF）。

我曾有机会参观了国家点火装置（NIF）激光聚变设备，它大得惊人。由于与氢弹的密切关系，国家点火装置反应堆位于劳伦斯利弗莫尔国家实验室（Lawrence Livermore National Laboratory）里，那里有军方设计的氢弹头。为了进入其中，我必须通过层层安全检查。

可是当我抵达反应堆时，我感觉真是一次令人难忘的经历。我过去经常在大学实验室里看到过激光（实际上纽约州最大的一座激光实验室，就在我办公室下面的纽约市立大学里），能看到国家点火装置的设施实在是难以忘怀。它被安置在有3个足球场那么大的10层楼中，沿着一条长长的隧道发射出192条巨大的激光束。它是世界上最大的激光装置，释放的能量是以往任何激光装置的60倍。

在激光束沿着这条长长的隧道发射后，这些激光束照射在一排镜面

上，镜面使每束激光聚焦到一个含有氘和氚（氢的两个同位素）的像针头大小的极小目标上。令人难以置信的是，500万亿瓦的激光功率被聚焦在一个极小的、肉眼几乎看不见的小球上，把它加热到1亿度，其炙热程度远远超过了太阳中心的温度。（巨大脉冲的能量等于半个百万级核电厂在瞬间产生的能量。）这个极小的小球表面很快被蒸发，释放出可以摧毁小球的冲击波，也释放出聚变能量。

该装置是在2009年建成的，目前正处在测试阶段。如果一切正常，它可能是第一台产生能量与消耗能量同样多的设备。虽然这台设备并不是为生产商业电力而设计的，但是它的设计目的是证明经过聚焦的激光束可以用于加热富氢材料，并生产净能量。

我与国家点火装置（NIF）设施的一位董事爱德华·摩西（Adward Moses）谈论过他对这个项目的愿望和梦想。他戴着安全帽，看起来更像一个建筑工人，而不像一位负责世界上最大激光实验室的顶尖的核物理学家。他坦诚地对我说，在过去，他起初经历过无数次的失败。但是他相信这次是真正地成功了：他和他的团队正打算获得一项重要成果，一项将被写入史册的成果，即首次在世界上平静地捕获太阳的能量。与他交谈，你会了解忠实的追随者凭借他们的热情和能力如何持之以恒地进行着像国家点火装置这样的项目。他告诉我，他最开心的某一天是他能够把美国总统邀请到实验室宣布历史刚刚被改写。

不过，从一开始，国家点火装置（NIF）就遭遇不好的开端。〔甚至发生了一些奇怪的事情，比如，国家点火装置前任副董事E.迈克尔·坎贝尔（E.Michael　Campbell）因谎称在普林斯顿大学获取博士学位之事被曝光后于1999年被迫辞职。〕然后是竣工日期，最初定在2003年，却一拖再拖，导致成本激增，从10亿美元增加到40亿美元。6年之后，该项目终于在2009年3月竣工。

他们说麻烦就出在细节上。比如，在激光聚变中，为了使小球均匀内爆，192条激光束必须十分精确地投射在极小小球的表面上；激光束必须在300万亿分之一秒内相互投射到极小目标上；激光束的最小失准或者小球的最小不规则度都意味着小球因受热不对称而造成向一边爆裂，而不是球状内爆。

如果小球的不规则度超过50纳米（或者约150个原子），那么小球也不能均匀内爆。〔这就像投手站在350英里（563公里）距离外要把棒球扔进好球区一样。〕因此，激光聚变面临的主要问题是对准激光束和小球的均匀度。（图8）

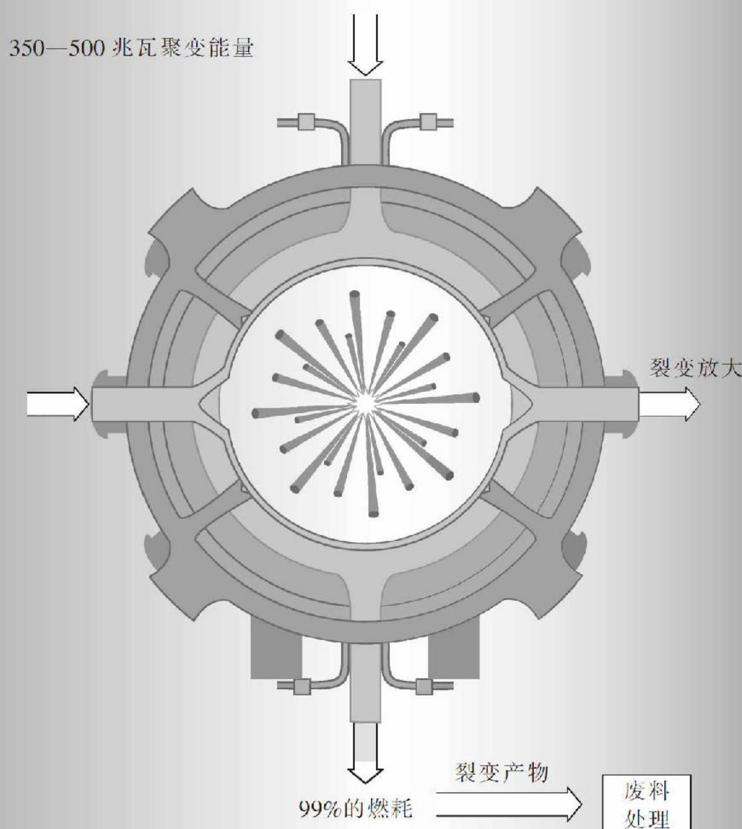


图8　激光聚变反应堆。激光压缩富氢材料的小球。聚变的两种形式之一。

除了国家点火装置（NIF）之外，欧盟也在资助其自己的激光聚变项目。反应堆将建在“大功率激光能量研究设备”（HiPER）中，尽管规模较小，但是比国家点火装置可能更高效。大功率激光能量研究设备（HiPER）建设于2011年开始。

许多人的希望都寄托在国家点火装置上。不过，如果激光聚变不能像预期的那样运行，还有一个更先进的受控聚变建议：即把太阳能量装入瓶子里。



国际热核实验反应堆——磁场中的核聚变

在法国正在开发另一项设计。国际热核实验反应堆（ITER，又称“人造太阳”计划）采用巨型磁场装热氢气。国际热核实验反应堆没有用激光瞬间击爆富氢材料的极小小球，而采用磁场缓慢压缩氢气。设备看起来非常像一块钢制的中空甜面圈，电磁线圈围绕在甜面圈的空洞四周。磁场使氢气保持在环形室里，防止外逸。然后，发送一股电流冲击氢气，对其进行加热。用磁场挤压氢气和用电流冲击氢气，这样把氢气加热到高达数百万度。

用“磁瓶”（magnetic　bottle）产生聚变并不是一个新鲜的想法。实际上该想法可以追溯到20世纪50年代。可是，为什么用了那么长时间、延误那么久才实现聚变能量的商业化呢？

问题是必须对磁场进行精确调整，以便在气体压缩时不会出现膨胀或不规则现象。不妨想想看，如果你拿一个气球，用手压它，把它均匀地压平，你将发现气球会在你的手掌缺口处鼓起来，均匀压平几乎是不可能的。所以，难点在于不稳定性，这不是一个物理问题，而是一个工程问题。

这似乎很奇怪，因为恒星很容易压缩氢气，形成我们在宇宙中看到的无数颗恒星。看起来，似乎大自然毫不费力地创造了天空中的恒星，那么，为什么我们不能在地球上做到这一点呢？答案证明了在万有引力与电磁场之间存在着一种简单而深奥的差异。

严格来说，牛顿证明的万有引力具有吸引力。那么在一颗恒星中，氢气的引力把它均匀地压缩成一个球体。（这就是为什么恒星和行星是球形的，而不是立方体的或者三角形的。）但是，电荷有两种形式：正电荷和负电荷。如果我们收集到一团负电荷，它们会相互排斥并四处分散。如果我们把一个正电荷和一个负电荷放在一起，我们就得到所谓的“偶极”（dipole），有一组复杂的像蜘蛛网一样的电场线。同样地，磁场形成一个偶极；因此在环形室中均匀挤压热气是一件非常困难的事；事实上，需要一台巨型计算机对简单电子配置中发射出来的磁场和电场进行绘制。

一切都归结于此。重量具有吸引力，也可以把气体均匀地压缩成球体，从而轻而易举地形成恒星。可是，电磁既具有吸引力也具有排斥

性，因此气体在压缩时以复杂的方式鼓起，使受控聚变异常困难。这就是困扰了物理学家50年之久的根本问题。

一直持续到现在。如今，物理学家可以断言，国际热核实验反应堆终于解决了纠结已久的磁约束稳定性难题。

国际热核实验反应堆（ITER）是所有尝试过的最大的国际科研项目之一。设备的核心部分由一个环形金属室构成。它的总重量达23000吨，远远超过了仅7300吨的埃菲尔铁塔的重量。（图9）

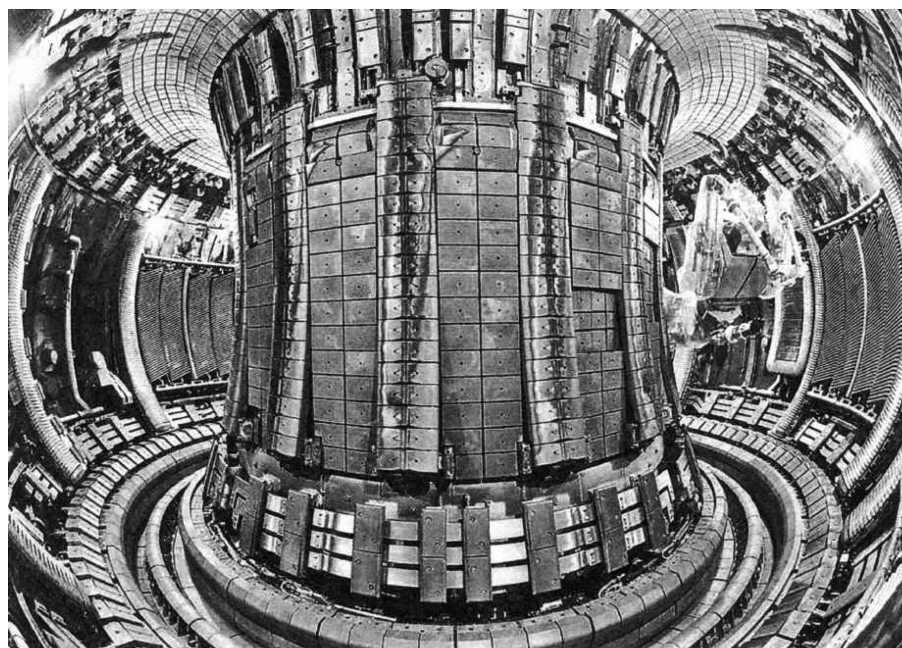


图**9**　热核实验反应堆。磁场压缩含氢的气体。聚变的两种形式之二。到本世纪中叶，整个世界的能源可能来自聚变。

设备的组件很重，运输设备的道路必须经过特殊改善。需要一队货车运输这些组件，其中最重的组件达900吨，最高的组件有4层楼那么高。国际热核实验反应堆大楼有19层高，坐落在有60个足球场那么大的巨型陆台上。该项目计划耗资100亿欧元，由七个成员国分摊（欧盟、美国、中国、印度、日本、韩国和俄罗斯）。

在最终点火运行时，该设备将把氢气加热到2.7亿万℉（华氏度，1.5亿万℃），远远超过太阳中心的2700万℉（华氏度，1500万℃）。如果一切正常，该设备将生产500兆瓦能量，是最初进入反应堆能量的10倍。〔聚变能量的现有纪录是16兆瓦，由位于英国牛津郡卡拉姆科研中心（Culham Science Center，UK）的欧洲核聚变联合研究计划的JET反应堆创造的。〕在某些延误之后，现在把无亏损运营的目标期限定在2019年。

国际热核实验反应堆仍然是一个科研项目，其目的不是生产商用电力。但是，物理学家正在为下一步计划奠定基础，即让聚变能量市场化。领导一个工作小组正在研究聚变电厂商用设计的法洛克·纳吉马巴蒂（Farrokh Najmabadi）提出建立比国际热核实验反应堆小的ARIES-AT设备，该设备的发电量可以达到10亿瓦特，每度电约5分钱，比化石燃料更具竞争力。可是，对聚变持乐观态度的纳吉马巴蒂承认，只有到本世纪中叶，才能做好聚变能量广泛商业化的准备。

另一项商用设计是“示范”（DEMO）聚变反应堆。国际热核实验反应堆的设计目标是在最少500秒钟时间内发电量达到500兆瓦，而示范（DEMO）旨在不断地发电。示范（DEMO）中增加了国际热核实验反应堆中缺少的一个环节。当聚变发生时，形成一个额外的中子，它快速从反应室中逃出。然而，有可能用一种被称为毯子的特殊涂层环绕反应室，它是专门设计用于吸收该中子能量的。然后，毯子加热。毯子内部的管子有水，水开始沸腾蒸发。蒸汽喷出时带动涡轮机叶片发电。

如果一切顺利，示范（DEMO）设备将于2033年上线。它将比国际热核实验反应堆大15%。示范（DEMO）的发电量将是它消耗电能的25倍。预计示范（DEMO）的发电量是20亿瓦，比传统发电厂更具有优势。如果示范（DEMO）电厂取得成功，将推动该技术的快速商业化。

但是仍然存在着许多不确定因素。国际热核实验反应堆已经确保获得建设所需的资金投入。由于示范（DEMO）反应堆仍处于规划阶段，预计会有些延误。

聚变科学家认为，他们已经终于渡过难关了。在经过数十年的夸大宣传和失败之后，他们相信有能力实现聚变。最终把聚变电能带入老百姓家庭的设计方案可能不是一个而是两个（国家点火装置和国际热核实验反应堆）。可是，由于国家点火装置和国际热核实验反应堆都还没有生产商业聚变电力，所以还有可能出现一些出乎意料的事情，比如桌面聚变和气泡聚变。



桌面聚变

由于存在很高的风险，所以，确定从一个完全不同的、意料之外的方向解决问题的可能性也是非常重要的。由于核聚变是一个有严格定义的过程，所以，研究人员在普通主流大型资金之外提出的若干建议仍然

具有一定的价值，特别是其中的某些建议可能在某天实现桌面聚变（tabletop fusion）。

在电影《回到未来》（*Back to the Future*）的最后一幕中，我们看到疯狂的科学家布朗博士为他的德罗宁（DeLorean）时间机器争抢燃料。他没有给机器加注汽油，而是寻找装有香蕉皮和废物的垃圾桶，然后把所有东西倒入被称为“聚变先生”的小罐中。

假如给定100年，是否有突破性的设计能够把像足球场那么巨大的设备简化到咖啡壶的尺寸，就像电影中的那样？

桌面聚变的一种非常大的可能性是被称做“声波发光”的技术（sonoluminescence）。该技术采用气泡突然破裂方法产生炽热温度；有时被称为音速聚变或者气泡聚变。科学家对这种神奇效果的认识已有数十年了，可以追溯到1934年，当时科隆（Cologne）大学的科学家正在对超声和感光胶片进行试验，希望加快研发过程。他们在胶片中发现了微小的点，这些小点是超声波在液体中形成气泡时所引起的闪光造成的。后来，纳粹分子发现，从螺旋桨叶片中发出的气泡时常发光，这说明在气泡中由于某种原因而产生了高温。

随后经证明，这些气泡发出明亮的光是由于它们均匀地破裂，从而把气泡中的空气压缩到极高的温度。我们以前看到的热聚变受到氢气不均匀压缩的困扰，其原因可能是撞击燃料球团的激光束没有对准，或者是氢气受压不均匀。随着气泡的收缩，分子运动加快，导致气泡内部的空气压力沿着气泡壁迅速均匀分布。原则上来说，如果我们能够在如此完美的条件下击破气泡，那么我们就实现了聚变。

声波发光实验已经成功地把温度升到了数万度。如果采用稀有气体，我们就可以增强从这些气泡中发出的光的强度。但是，对此还存在着争议，即：这样能否使温度达到产生核聚变的炽热程度。争议源自美国橡树岭国家实验室（Oak Ridge National Laboratory）前研究人员拉什·塔拉亚克汉（Rusi Taleyarkhan），他在2002年声称，他能够用自己的声速聚变设备实现聚变。他还声称已经在他的实验中发现了中子，清楚地表明核聚变正在发生。然而，其他研究人员经过多年努力之后还是未能复制他的工作，因此，他的研究成果在目前是不可信的。

然而，另一个难以预测的事是电视机的无名共同发明者费罗·法恩斯沃斯（Philo Farnsworth）的聚变机器。在孩提时代，法恩斯沃斯最初对电视机的想法是从农民的一排一排耕作田地的方式中悟出的。在14岁那年，他甚至画出了电视机模型的详细草图。他是把该想法转换成能在屏幕上捕捉移动影像的完全电子装置的第一人。遗憾的是，他无法充分利用自己划时代的发明成果，反而陷入与美国无线电公司（RCA）漫长的、难缠的专利权争斗中。这场官司逼得他发疯，只好自愿地进入了精神病院。他对电视机的开创性研究基本上无人问津。

在以后的生活中，他把注意力转向了融合器研究，这其实是一种可以通过聚变产生中子的小型桌面装置。该装置由两个大型球体构成，一个球体在另一个球体的里面，每个球体由线网组成。外层线网含有正电荷，内层线网含有负电荷，这样，从该线网中注入的质子受到外层线网的排斥并被内层线网吸引。然后，质子猛烈撞击富氢小球的中间部位，产生聚变和中子爆发。

该设计很简单，甚至高中学生都能够完成里克特、庞斯、弗莱斯曼等不能做到的事情，即成功地生成中子。然而，该装置不可能总是生成可用能源。被加速的质子数量非常小，因此，该装置产生的能量也非常小。

事实上，采用标准的原子击破器或者粒子加速器也有可能在桌面上实现聚变。原子击破器比融合器更复杂，但是，它可用于加速质子，使质子撞击富氢目标，并产生聚变。但同样地，被融合的质子数量非常小，使得该装置不实用。因此，虽然融合器和原子击破器都能够实现聚变，但是它们的效率太低、光束太稀疏，不能生产可用能源。

考虑到巨大的风险，其他有进取心的科学家和工程师很可能有机会把他们精巧的地下室装置转变成下一个伟大的发明。

远期（2070—2100）



磁力时代

上一个世纪是电力时代。因为电子很容易受控，因此开发了许多全新的技术，使无线电广播、电视、计算机、激光器、磁共振成像扫描仪等成为可能。但是，在本世纪的某个时候，物理学家将可能看到他们的圣杯：室温超导体（room temperature superconductors）。这将标志着一个崭新纪元的开始，即磁力时代。

想象一下，乘坐一辆磁力汽车，在高空中翱翔，以时速数百英里的速度行驶而又几乎不用燃料；再试想一下，列车甚至人都悬浮在磁轨上，在空中旅行，会是怎样奇妙的感觉。

我们忽略了一点，我们汽车中使用的汽油主要用于克服摩擦力。一般而言，开车从旧金山到纽约市几乎不消耗能源。这段行程实际消耗了数百美元汽油的主要原因，是你必须克服车轮与路面的摩擦力和空气的摩擦力。但是，假如以某种方式用一层冰覆盖从旧金山到纽约的路面，那么，你就可以轻松地无偿地滑行这段行程。同样的道理，我们的空间探测器只需消耗几夸脱（10升内）燃料就能飞越冥王星，其原因是探测器滑行穿越了宇宙真空。同样地，一辆磁力车可以飘浮在地面之上，你只要给车吹气，车就开始移动。

超导体是该技术的关键所在。自1911年起，科学家就认识到，当汞被冷却到绝对零度以上的4度（开氏度，-269℃）时，它就失去所有电阻了。（其原因是流经电线的电子在与原子碰撞后就失去能量了。但是，在接近绝对零度时，这些原子基本上处于静止状态，于是，电子就可以轻松地穿过原子而不会失去能量。）

这些超导体具有奇怪而非凡的特性，但是，一个严重的缺点是你必须用液体氢把它们冷却到接近绝对零度（-273.15℃），成本很高。

因此，当1986年宣布已经找到一种无须被冷却到超低温度的新型超导体时，物理学家深感震惊。与以前的汞或铅等材料不同，这些超导体由陶瓷制造而成，从前认为陶瓷不可能用做超导体的备选材料，只能在绝对零度以上92度（开氏度，-181℃）时才能制成超导体。令人尴尬

的是，这些陶瓷在原以为不可能的温度下制成了超导体。

迄今为止，这些新型陶瓷超导体的世界纪录是绝对零度以上138度（开氏度，-135℃）。这个意义重大；由于液态氮（其成本和牛奶一样低）的形成温度是77度（开氏度，-196℃），因此可用于冷却这些陶瓷。单单这个事实本身就已经大幅度削减了超导体的成本。所以，这些高温超导体具有直接的实际应用价值。

然而，这些陶瓷超导体只是吊起了物理学家的胃口。这是朝着正确方向迈进的一大步；不过，这远远还不够。第一，尽管液态氮相对廉价，但是你还必须具备某种制冷设备对氮进行冷却。第二，用模具把这些陶瓷制成电线是很困难的。第三，物理学家仍对这些陶瓷的性质感到困惑不解。数十年过去了，物理学家还不确定陶瓷的成型方式。这些陶瓷的量子理论过于复杂，目前仍不能解决，因此，无人知道陶瓷为什么能制成超导体。物理学家对此毫无线索。有一项诺贝尔奖项正在等待着能够解释这些高温超导体的先贤之士。

每位物理学家都知道室温超导体将会产生的巨大影响，它可能再次引发一场工业革命。室温超导体不需要任何制冷设备，所以，它们能够产生具有巨大能量的永久性磁场。

比如说，如果电在铜线回路中流动，那么其能量由于电线阻力的缘故在瞬间就会耗散。然而，实验证明，在超导体回路中的电流能够一次性保持恒定数年之久。实验结果显示，超导线圈内的电流存留期为10万年。某些理论主张，超导体中的电流存留的最大限度就是已知宇宙本身的寿命。

这样的超导体最起码能够降低高压电缆中的电力浪费，从而降低电力价格。输电线路中的损耗正是电厂之所以要靠近城市的原因之一。这也是为什么核电厂距离城市太近而容易造成健康危害的原因，也是为什么风电场不能建在风力最强的地区的原因。

电厂生产的电能中多达30%的能量可能在输电过程中被浪费掉。室温超导导线可以改变这一切，从而大幅度节省电力成本、降低污染，也可能对全球变暖问题产生深远的影响。由于全球二氧化碳的生成量与能源消费紧密相关，以及多数能量是在克服摩擦力时被浪费掉的，因此，磁力时代能够永久性地降低能耗和二氧化碳的生成量。



磁力汽车和列车

室温超导体无须任何额外的能源输入就可以生产出能够抬起列车和汽车，使之悬浮在地面之上的超级磁铁上。

在任何实验室都可以对这一能力进行验证。我本人已多次为BBC-TV和科学频道亲自证明过。你可以从一家科学供应公司订购一小块高温陶瓷超导体，它坚韧，呈灰色，尺寸约为1英寸。然后，你可以从一家奶制品供应公司购买一些液态氮，把陶瓷放在一个塑料盘里，再把液态氮慢慢倒在上面。氮碰到陶瓷后就开始猛烈沸腾。等到氮停止沸腾时，在陶瓷顶部放上一小块磁铁。磁铁就会神奇地飘浮在半空中。如果你轻轻拍打磁铁，它就开始自行旋转起来。在那个小盘子里，你也许正在睁大眼睛看着一个未来的环游世界的交通工具。

磁铁能浮起来的原因很简单。磁力线不可能贯穿超导体。这就是“迈斯纳效应”（Meissner Effect）。（当给超导体施加磁场时，就在其表面形成小量的电流并与之相互抵消，于是，在超导体中产生磁场。）当你把磁铁放在陶瓷上面时，其场力线因不能穿透陶瓷而聚成一团。这样，形成了磁场线“衬垫”，磁场线紧紧地挤压在一起，从而把磁铁推离陶瓷，并使其悬浮。

室温超导体还可能预示着超级磁铁时代的到来。我们所看到的磁共振成像（MRI）设备非常有用，但是需要大型磁场。室温超导体将使科学家能够廉价地生成庞大的磁场。这将使未来的磁共振成像设备小型化。科学家已经采用非均匀磁场制造出了1英尺（30.48厘米）高的磁共振成像设备。有了室温超导体，科学家就有可能把这些设备的体积缩减到纽扣那么大。

在电影《回到未来》的第三集中，迈克尔·J.福克斯（Michael J.Fox）扮演的角色就是乘坐一个翱翔板，即飘浮在空中的滑板。该部影片首映之后，不断有小孩向销售商店打电话询问购买翱翔板的事情。可惜的是，翱翔板不存在；不过，有了室温超导体，翱翔板就有可能变为现实。



磁悬浮列车和汽车

室温超导体的一种简单应用就是变革交通工具，引入飘浮在地面之上、运行时毫无摩擦力的汽车和列车。

想象一下乘坐一辆采用室温超导体的汽车的感觉。路面不是由沥青而是超导体铺成的。汽车包含一块永久性磁铁或者通过其自有的超导体产生磁场。汽车可以飘浮起来。甚至压缩空气也足以驱使汽车行驶。一旦跑动起来，汽车几乎可以在平坦的路面上不断地滑行。只需要电动引擎或喷射压缩空气就能够克服空气摩擦力，该摩擦力是汽车面对的唯一的阻力。

即使没有室温超导体，几个国家也已经制造出了能够在含有磁铁的轨道上空运行的磁悬浮列车（磁浮列车）。由于磁铁的北极排斥其他北极，所以，可以安排磁铁使列车的底部含有使其恰好浮在轨道上空的磁铁。

德国、日本、中国等在该技术方面处于领先地位。磁悬浮列车甚至创造了几个世界之最。第一辆商用磁悬浮列车是1984年往返于伯明翰国际机场与伯明翰国际火车站之间的低速短程火车。磁悬浮列车的最高时速纪录是2003年由日本MLX01列车创造的每小时361英里（581公里）。〔喷气式飞机飞行速度更快，部分原因是在高空中的空气阻力较小。由于磁悬浮列车飘浮在空中，因此，其能量损耗主要是由空气摩擦力造成的。然而，假如磁悬浮列车在真空室中运行，那么它的时速可能达到每小时4000英里（6437公里）。〕可惜的是，处于经济方面的考虑，磁悬浮列车很难迅速在世界范围内推广。室温超导体有可能改变这一切，也有可能给美国的轨道系统带来新生，因为它降低了飞机的温室气体排放量。据估计，2%的温室气体产生于喷气式引擎，因而，磁悬浮列车能够减低其排放量。（图10）

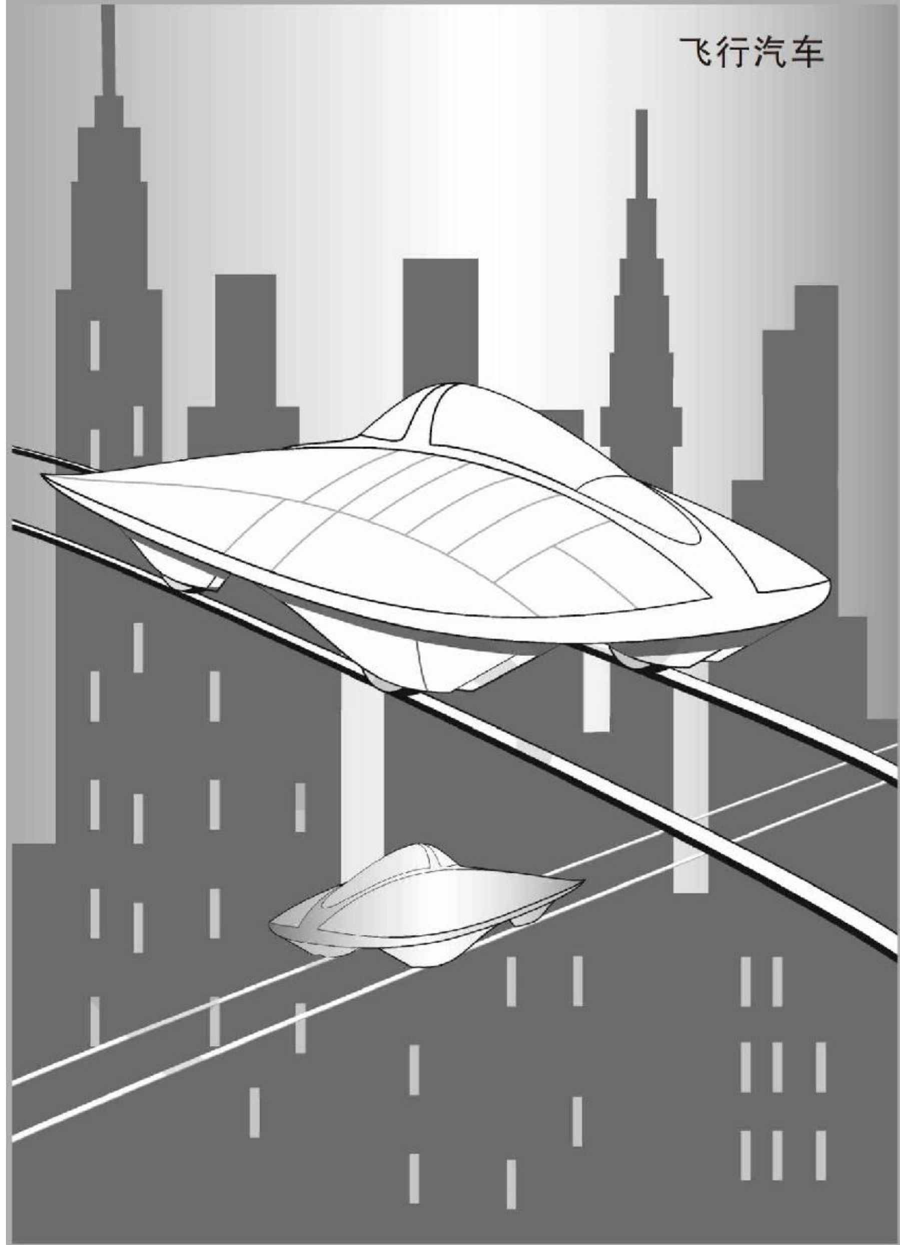


图10　室温超导体总有一天可能给我们带来飞在空中的汽车和火车。它们可能飘浮在轨道上，或者飘浮在由超导体铺成的路面上，不存在摩擦力。

到本世纪末，另一种发电的可能性就会出现：来自太空的能量。这被称做太空太阳能发电（SSP），需要发射数百颗太空卫星进入绕地球轨道，吸收太阳辐射，然后以微波辐射的形式把该能量发射回地球。卫星的位置在距离地球22000英里（35406公里）之外，与地球同步运转，即以地球自转的速度围绕地球运转。由于太空中的太阳光比地球表面的太阳光多8倍，因此，该技术具有真正意义上的可能性。

目前，太空太阳能发电（SSP）计划遇到的最大困难是成本，主要指发射这些太空收集器的成本。在物理学定律来看，从太阳那里直接收集能量不算难事，但是，这涉及庞大的工程和艰难的经济问题。到了本世纪末，降低太空航行成本的新方法就可能把这些太空卫星置于力所能及的掌控范围之内，详情请见第6章内容。

基于空间的太阳能发电建议书于1968年首次郑重提出，时任国际太阳能学会（ISES）会长的彼得·格拉泽（Peter Glaser）提议发射体积为一座现代城市那么大的卫星，用于把收集的太阳能发回地球。1979年，美国宇航局（NASA）的科学家对他的提议进行了严格审查并估算其成本高达数千亿美元，最终因此而扼杀了该计划。

由于空间技术的不断完善，美国宇航局在1995年至2003年期间继续为小规模太空太阳能发电研究提供资金支持。该计划的支持者认为，在太空太阳能发电技术和经济状况使其成为现实之前，这只是时间问题。纽约大学原物理学家马丁·霍福特（Martin Hoffert）说："太空太阳能发电为我们提供了真正可持续的、全球范围的、零排放的电源。"

这项雄心勃勃的计划面临着一些既现实又虚幻的艰巨问题。一些人对该计划存在担心是因为从太空发回的能量可能击中有人居住的地区，从而造成大量的人员伤亡。然而，这种担心被夸大了。如果我们计算一下来自太空的撞击地球的实际辐射量就明白，辐射量很小，很难导致任何健康危害。因此，那些向地球发射杀伤性射线、烧毁整个城市的凶猛太空卫星的幻想，只是好莱坞制造噩梦般景象的手段罢了。

科幻小说作家本·博瓦（Ben Bova）于2009年在《华盛顿邮报》上撰文，指出了有关太阳能发电卫星的令人沮丧的经济问题。据他估算，每颗卫星会产生千兆瓦电能，远远超过了传统燃煤电厂的发电量，每度电成本为8—10分钱，很有竞争优势。每颗卫星都是个庞然大物，直径约1英里（1609米），造价约为10亿美元，大致等于一座核电厂的造价。

要启动该技术，他请求目前的管理当局建立示范项目，发射一颗发电量为10兆—100兆瓦的卫星。据推测，如果现在开始实施这些计划，这样的卫星可能在奥巴马总统第二任期结束时成功发射。

日本政府宣布了一项重大倡议就是对这些评论的呼应。2009年，日本贸易部公布一项计划，准备对太空发电卫星系统的可行性进行调研。三菱电机公司（Mitsubishi Electric）以及日本其他几家公司将参与一项价值100亿美元的方案，可能向太空发射一座太阳能发电站，其发电量为10亿瓦。该电站非常庞大，面积约为1.5平方英里（3.89平方公里），上面覆盖着太阳能电池。

日本一家政府研究机构，能源经济研究所的狷介兼清（Kensuke Kanekiyo）曾说："听起来像一部科幻动画片，但是，随着化石燃料的

消失殆尽，太空太阳能发电可能是下一个世纪重要的替代能源。”

考虑到这项宏伟工程的重要性，日本政府对此持审慎态度。一家研究组织将首先花费今后4年的时间从科学性和经济学角度对该计划的可行性进行研究。如果该组织给出绿灯放行结论，那么日本贸易部和日本航空研发署将计划在2015年发射一颗小型卫星，对从外层空间向地球发回的能量进行试验。

最主要的难题可能不是科学性，而是经济问题。东京空间咨询公司（Excalibur KK）的吉田广志（Hiroshi Yoshida）曾警告说：“这些费用应降低到当前估计成本的百分之一。”一个问题是这些卫星必须是在距离地球表面22000英里（35406公里）的太空中，比处于300英里（483公里）近地轨道的卫星遥远了很多，因此，输电线路中的损耗可能非常大。

然而，最大的难题是助推火箭的高昂成本。这与困扰月球返回和探测火星等计划的难题相同。

除非大幅度削减火箭发射的成本，否则该计划将悄然夭折。

令人欣慰的是，日本的计划可能在本世纪中叶开始实施。然而，一想到助推火箭的诸多问题，该计划更有可能不得不等到本世纪末才实施，因为到那时，新一代的火箭成本已大幅降低了。如果太阳能发电卫星的主要问题是成本，那么，接下来的问题就是：我们能够降低太空旅行成本，以便我们将来的某一天到达恒星吗？

6．未来的太空旅行　星际遨游

我们已经在宇宙海洋的岸上徘徊太久了。我们终于做好了准备，扬起风帆，向恒星挺进。

——卡尔·萨根（Carl Sagan）

神话故事中的众神乘坐在强大的战车中遨游奥林匹亚山神圣的天宇。古挪威众神乘坐着强大的海盗船越过浩瀚的宇宙之海驶向阿斯加德仙宫（Asgard）。

到了2100年，人类将同样迎来太空探索新时代的到来：到达恒星。在夜晚，星星似乎近在咫尺，却又遥不可及；而到了本世纪末，对于火箭专家来说，它们将是清晰可见的。

然而，建造星际飞船的道路却布满荆棘。人类就像一个想伸手摘取星星而双脚深陷泥潭的人一样。一方面，由于我们发射卫星在太空中寻找类地行星，探索木星的卫星，甚至拍摄宇宙大爆炸最初形成时的照片等，所以本世纪将目睹机器人探测太空的新时代。几代梦想家和幻想家对外层空间载人探险迷恋已久，不过，这将给他们带来某种失望。



太阳系以外的行星

太空计划最了不起的成果之一是用机器人对外层空间进行的探测，极大地拓宽了人类的视野。

这些机器人探测任务中最重要的任务是在太空中寻找有生命存在的类地行星，这是空间科学的圣杯。迄今为止，陆基望远镜已经探测到大约500颗在遥远星系中沿轨道运转着的行星；现在新的行星不断被发现，每一至二周发现一颗新行星。然而，令人非常失望的是，我们的仪器只能探测到巨大的、像木星那么大的、不能维持生命的行星。

为了发现行星，天文学家在恒星运行的轨道中寻找细微的晃动痕迹。我们可以把这些太阳系之外的星系比做旋转着的哑铃，它的两个球相互绕转，一端代表着望远镜清晰可见的恒星，另一端则代表着像木星那么大的行星，其模糊度约为前者的10亿倍。当太阳和木星般大小的行星围绕哑铃中心旋转时，望远镜可以清楚地看到恒星在摇摆。通过这种方法，我们已经成功地在太空中探测到了数百颗气态巨行星，可是，这个方法还太简陋，不能探测到微小的类地行星的存在。

2010年，陆基望远镜发现了一颗最小的行星，它是地球的3—4倍大。不同寻常的是，这颗“超级地球”是其他的太阳中有生命迹象区的第一颗行星，即在适当距离存在着液态水。

所有这一切都是随着2009年“开普勒任务”太空望远镜和2006年“科罗”（COROT）卫星的成功发射而发生的变化。这些空间探测器旨在寻找一颗小行星，因从恒星面前经过而使其光线受阻时所产生的微小的星光波动。这些探测器采用仔细搜索数千颗恒星光线微小波动的方法，也许能够找到数百颗类似地球的行星。一旦找到，科学家将很快对这些类地行星进行分析，看看它们是否含有液态水，这也许是太空中最宝贵的日用品了。液态水是一种通用溶剂，也可能是发现第一个DNA的混料罐。假如在这些类地行星上发现液态水海洋，那么将会彻底改变我们对宇宙中的生命的理解。

寻找丑闻的记者常常说：“跟着钱走。”而寻找空间生命的天文学家

却常说："跟着水走。"

开普勒太空望远镜卫星将会被其他灵敏度更高的卫星代替，如"类地行星搜寻者"卫星。尽管类地行星搜寻者卫星的发射日期几次推迟，但是它依然是进一步实现开普勒目标的最佳替代者。

类地行星搜寻者卫星将采用更好的光学系统在太空中寻找类地行星。首先，它的反射镜比哈勃太空望远镜的反射镜大4倍，灵敏度高100倍。其次，它采用红外传感器，可以把恒星的强辐射减弱100万倍，从而揭示围绕其运转的暗淡行星的存在。（红外传感器选取两种恒星辐射波，小心组合，于是两种波相互抵消，以此排除不需要的恒星。）

因此，在不久的将来，我们将有一本关于数千颗行星的百科全书，也许其中的数百颗行星在尺寸与构成方面与地球非常类似。反过来说，总有一天，这将使更多的科学家有兴趣向这些遥远的行星发射探测器。科学家将更加努力地探索这些类地行星是否含有液态水海洋，是否存在着来自智能生命形式的无线电波信号。



宜居区之外的欧罗巴

在太阳系中还有一个对探测器有诱惑力的目标：欧罗巴（Europa），即木卫二。数十年来，天文学家认为太阳系中的生命只能在太阳周围的"宜居区"（Goldilocks zone，又称金凤花带）生存，那里的行星既不太热也不太冷，适合维持生命。地球具有液态水，因为它围绕太阳旋转的距离恰到好处。在水星等行星上，液态水会沸腾蒸发，由于它距离太阳太近；而在木星等行星上，液态水会冻结凝固，由于它距离太阳太远。液态水也许是DNA和蛋白质初次形成的液体。长期以来，天文学家认为太阳系中的生命只能在地球或者可能在火星上存在。

可是，天文学家都错了。在"旅行者"号宇宙飞船驶过木星的卫星之后，很显然，还有一个能够让生命茁壮成长的地方：即在木星的卫星冰盖之下。木卫二是伽利略在1610年发现的木星卫星之一，很快引起了天文学家的关注。虽然其表面永久性地覆盖着冰层，但是在它的下面是一片液体海洋。由于木卫二上的这片海洋比地球上的海洋深很多，所以，估计木卫二海洋的总体积是地球海洋体积的两倍。

意识到在太阳系中还存在着与太阳不同的丰富能源，多少有些令人震惊。在冰层之下，木卫二表面不断被潮汐能加热。当木卫二在围绕木

星的轨道中飞速运转时，庞大木星的引力从各个方向挤压木卫二，在其核心深处形成摩擦；摩擦产生热，热反过来融化冰层，于是形成了稳定的液态水海洋。

该重大发现意味着，遥远的气体巨行星的卫星也许比行星本身更引人关注。〔这或许是詹姆斯·卡梅隆（James Cameron）选择木星般大小行星的卫星作为其2009年影片《阿凡达》（*Avatar*）的场景的原因之一吧。〕天文学家原以为在遥远的气体巨行星的卫星上的黑暗太空中罕有生命存在，现在看来，在那里也许确实存在着生机勃勃的生命。突然间，有生命存在的地方的数量翻了好几倍。

作为这个重大发现的结果，“欧罗巴木星系统任务”（EJSM）暂计划在2020年启动，设计的目的是围绕木卫二运转，并在可能情况下着陆其上。除此之外，科学家还梦想着发射更高级的设备对木卫二进行探测。科学家已经考虑了多种方法在冰盖之下搜寻生命迹象。其中一种可能性是“木卫二破冰船任务”，把球体掉落在覆满冰的冰面上。对于在撞击区产生的羽状云雾和碎片云雾，将由飞越它的航天器进行仔细分析。另一个更为雄心勃勃的计划是把遥控水栖机器人潜艇放在冰层的下面。

对地球海底研究的新成果也激发了科学家对木卫二的兴趣。在20世纪70年代之前，大多数科学家认为太阳是生命存在的唯一能源。可是在1977年，“阿尔文”（*Alvin*）号潜艇在从未有人怀疑的地方发现了新生命形式存在的证据。在对太平洋“加拉帕戈斯裂谷”（Galapagos Rift）进行探测之后，“阿尔文”号潜艇发现了巨大的管蠕虫、贻贝、甲壳纲动物、蛤蚌纲动物以及其他生命形式，它们用火山口的热能维持生命。有能源的地方就可能存在着生命；水下火山口为漆黑的海底提供了一种新能源。实际上，有些科学家曾暗示说，第一个DNA并不是在地球海岸的潮水池中形成的，而是在深海的火山口形成的。DNA某些最原始的排列形式（也许是最古老的）是在海洋底部发现的。如果真是这样的，那么，木卫二上的火山口就可能为类似DNA的物质的形成提供能量。

我们可以推测一下在木卫二冰盖之下可能形成的生命形式。如果这些生命的确存在，那么它们可能是采用声呐而不是光线进行导航的游泳生物；因此，它们对宇宙的认识仅限于冰盖之下的“天空”。



激光干涉仪空间天线——宇宙大爆炸之前

另一种能够引起科学知识巨变的是“激光干涉仪空间天线”（LISA）空间卫星及其继任者。这些探测器能够做一些不可能的事情：揭示宇宙大爆炸之前所发生的事情。

目前，我们能够测量遥远的星系远离我们而去的速度。（这应归因于多普勒频移，即当恒星向你移动或远离你时，光被扭曲了。）这让我们了解了宇宙的膨胀率。于是，我们“倒放录像带”，并计算原始爆炸发生的时间。这类似于我们对爆炸产生的炽热碎片进行分析，从而确定爆炸发生的时间。我们就是这样确定宇宙大爆炸大约发生在137亿年之前。然而，令人沮丧的是当前的“威尔金森微波各向异性探测器”（WMAP）空间卫星仅能追溯到原始爆炸之后不足40万年。所以，卫星只能告诉我们曾爆发过一声巨响，却不能告诉我们为什么爆发巨响、是什么发出的巨响，以及引起巨响的原因是什么等等。

这就是激光干涉仪空间天线（LISA）激发了科学家浓厚兴趣的原因所在。激光干涉仪空间天线将测量一种全新的辐射，即在大爆炸的一瞬间产生的引力波。

每当一种新型的辐射被利用的时候，我们的世界观也随之被改变了。在伽利略第一次使用光学望远镜绘制行星和恒星地图时，光学望远镜就开辟了天体研究之科学。当射电望远镜在第二次世界大战结束不久被改进之后，为我们揭示了宇宙间的恒星爆炸和黑洞。现如今，能够探测引力波的第三代望远镜将展现一幅更令人激动的远景，即由“碰撞黑洞”（colliding black holes）、更高维度和多元宇宙等组成的世界。

激光干涉仪空间天线（LISA）的发射日期暂定在2018—2020年之间。它由3颗卫星构成，3颗卫星组成一个300万英里（483万公里）宽的三角形，相互之间用三条激光束相连。这将是发送到轨道中的最大的空间设备。大爆炸产生的引力波在宇宙中回荡，使卫星产生轻微摇动。这种干扰会改变激光束，然后传感器会记录下干扰的频率和特征。这样，科学家就能够进入原始大爆炸发生后的一万亿分之一秒之内。（爱因斯坦认为，时空就像一块可以被弯曲也可以被拉伸的布料。如果受到碰撞黑洞或大爆炸等的巨大干扰，那么，就会形成波纹，在这块布料上不断扩展。波纹或引力波实在太小，很难用普通的仪器检测到；不过，激光干涉仪空间天线灵敏度高、体积庞大，足以探测到引力波产生的振动。）

激光干涉仪空间天线（LISA）不仅能够检测到碰撞黑洞发出的辐射，也可能对大爆炸以前的时代进行探测，这在从前被认为是不可能办到的事。

目前，关于大爆炸之前的时代有几种观点，都出自超弦理论，这是我的专长。在一定情况下，我们的宇宙就像是某种不断膨胀的巨型气泡。我们生存在这个巨型气泡的皮肤上（就像苍蝇被粘在捕蝇纸一样粘在了这个气泡上）。但是，我们的气泡宇宙与许多其他气泡宇宙一起共

存，构成了多元宇宙的世界，就像同洗一次泡泡浴。这些气泡偶尔可能会碰撞〔形成所谓的“大劈开理论”（Big Splat Theory）〕，或者裂变成许多小气泡后再膨胀〔形成所谓的“永恒暴胀”（Eternal Inflation）理论〕。有关大爆炸之前时代的每种理论都预测，在初始爆炸后的刹那间，宇宙会如何释放引力辐射。激光干涉仪空间天线（LISA）能够测量大爆炸后释放的引力辐射，并与超弦理论的各种预测结果相比较。激光干涉仪空间天线以这种方式可以排除或接纳某些理论。

即使激光干涉仪空间天线（LISA）的灵敏度不足以执行这样复杂的任务，但是，也许下一代探测器（比如“大爆炸观察者”）会超过激光干涉仪空间天线，完成这项任务。

如果成功的话，这些空间探测器就可以回答数世纪来一直无法解答的问题：宇宙最初来自哪里？因此，在近期内揭开大爆炸起源的奥秘显然是可能的。



载人航天

尽管机器人航天任务继续为太空探索打开新的前景，但是，载人航天将面临更大障碍。其原因是，与载人航天任务相比，机器人航天任务的优势是花钱不多而用途广泛，能在危险环境中执行探测任务，不需要昂贵的生命补给，最重要的是不必返回地球。

回到1969年，我们的宇航员似乎信誓旦旦地准备探索太阳系。尼尔·阿姆斯特朗（Neil Armstrong）和巴兹·奥尔德林（Buzz Aldrin）刚登上月球，人们就已经梦想着登上火星及更远的行星。似乎我们就站在恒星的门槛处。人类正进入一个新时代。

然后，美梦破灭了。

正如科幻小说家艾萨克·阿西莫夫（Isaac Asimov）曾写到的那样，我们触地得分了，拿起橄榄球，然后回家。如今，原来的“土星”助推火箭在博物馆里闲置着，或者在垃圾场上慢慢腐烂着。整个一代顶级火箭专家被解散。太空竞赛的冲劲也渐渐消散而去。今天，你只能在落满灰尘的历史书籍中才能找到月球漫步的资料了。

到底发生了什么事？发生的事太多了，包含越南战争、水门事件，等等。但是，追根究底，就是一个字：成本。

有时候我们会忘记一点：太空旅行是昂贵的，非常之昂贵。仅把1磅（0.45千克）重的物体送入近地轨道，就要花费1万美元。想一想用纯金打造的约翰·格伦（John Glenn），你就会理解太空旅行的代价了。要到达月球，每磅重量就需要约10万美元。要到达火星，每磅重量需要100万美元（大致相当于重量为你体重的钻石的代价）。

然而，所有这一切都被与俄罗斯竞争的兴奋劲和气势所掩盖了。由于在国家荣誉处于危险时国民愿意付出高昂的代价，勇敢的宇航员所表演的惊人的太空绝技掩饰了太空旅行的真实成本。不过，甚至超级大国也不能连续数十年承受如此高昂的代价。

遗憾的是，艾萨克·牛顿爵士首次写下运动定律已经过去300多年了，而我们仍然被一个简单的验算困扰着。想要把物体送入近地轨道，你必须以每小时18000英里（28968公里）的速度发射它才行。而要把它送入外层空间并摆脱地球的引力场，你必须以每小时25000英里（40234公里）的速度推进。（要达到时速25000英里这个“幻数”，我们必须采用牛顿运动第三定律，即每一个作用力，都有一个大小相等、方向相反的反作用力。）因此，从牛顿定律到计算太空旅行成本，只有简单的一步。没有哪一条工程法则或物理学定律会阻止我们探索太阳系；只是成本问题。

令人更遗憾的是，火箭必须携带自己的燃料，这必然导致其重量的增加。飞机基本上可以规避这个问题，因为它们可以从外部空气中获得氧气，然后在引擎中燃烧。可是，太空中没有空气，因此火箭必须携带自己的氧气箱和氢气箱。

这不仅是太空旅行如此昂贵的原因，而且也是我们没有喷射式背包和飞行汽车的原因。科幻小说家（不是真正意义上的科学家）幻想着将来有一天我们都穿上飞行背包飞着去上班，或者乘坐家用飞行汽车，点火起飞进行周末旅游等。许多人的幻想都被未来学家打破了，因为这些预言从来没有应验过。〔这就是为什么我们会一下子看到一系列文章和书籍都带有冷嘲热讽的标题，像“我的飞行背包究竟在哪？”（*Where's My Jetpack*？）〕但是，如果你简单想一想就明白其中的缘由了：飞行背包其实已经存在了；在第二次世界大战期间，纳粹曾短暂地用过飞行背包；只不过是常用的燃料过氧化氢并很快耗尽了，因此，穿着飞行背包的代表性飞行仅持续了几分钟。另外，利用直升机螺旋桨原理的飞行汽车会烧掉大量燃料，因此成本太高，不适用于普通郊区通勤者。



取消登月计划

基于太空旅行成本太高的原因，未来载人空间探索计划目前还不能确定。前任总统乔治·W.布什曾提出一个明确而大胆的太空计划。第一，2010年，航天飞机退役，2015年由一种被称为“星座”（Constellation）的新型火箭系统取代航天飞机。第二，2020年之前，宇航员重返月球，最终在那里建立永久性载人基地。第三，为最终的火星载人探索任务做好准备。

然而，从那以后，太空旅行的经济问题就发生了巨大变化，尤其因为经济大萧条耗尽了未来太空任务的全部经费。奥古斯丁委员会（Augustine Commission）于2009年给巴拉克·奥巴马总统提交的报告中总结说，鉴于当前的资金水平，之前的太空计划难以为继。2010年，奥巴马总统批复表示赞同奥古斯丁报告中的调查结果，即取消航天飞机以及为重返月球建立空间基地的替代计划。在近期内，美国宇航局（NASA）不得发射火箭把宇航员送入太空，而被迫依赖俄罗斯人。在此期间，私营企业抓住良机制造火箭，继续载人航天计划。由于突然改变过去的一贯做法，美国宇航局将不再制造用于载人航天计划的火箭了。航天计划的支持者认为，当私营企业接管航天计划时，将预示着太空旅行新时代的到来；而批评家却认为，航天计划将使美国宇航局处于“无名机构”的境地。



在小行星上着陆

奥古斯丁报告提出了所谓的迂回路线，内容包含几个不需要耗费太多火箭燃料的适度目标；比如，旅行去碰巧飘过地球附近的小行星，或者去火星的卫星等。报告指出，这样的小行星也许还不在我们的星空图上，它也许是一颗不久就会被发现的在太空漫游的小行星。

奥古斯丁报告认为，问题是用于月球（特别是火星）着陆和返回任

务的火箭燃料将会非常昂贵。不过，由于小行星和火星的卫星具有较弱的引力场，这些任务不会需要如此多的火箭燃料。奥古斯丁报告中还提到，我们有可能去访问“拉格朗日点”（Lagrange Points），即外层太空中地球和月球引力相互抵消的地方。（这些点可能是宇宙垃圾场，聚集着早期太阳系产生的远古残骸碎片；因此，访问这些点，宇航员可以发现地月系统形成初期的有趣的岩石。）

由于小行星具有较弱的引力场，因此在一颗小行星上着陆将必定是一次低成本的任务。（这也是小行星呈不规则形状而没有呈圆形的原因。在浩瀚的宇宙中，恒星、行星、月球等庞大物体都因为引力的均匀作用而呈圆形。行星出现的任何不规则形状都会在引力压缩其地壳时逐渐消失。但是，小行星的引力场太弱，不足以把小行星压缩成球体。）

我们可能访问的一颗小行星是“阿波菲斯”（Apophis），它在2029年将会令人不安地近距离掠过地球。阿波菲斯的直径约为1000英尺（304.8米），相当于一个大型橄榄球场，将会非常接近地球，其实是从地球某些人造卫星的下方穿过；根据近地飞行对小行星轨道的扭曲程度，它还可能在2036年朝着地球方向回归，到那时它撞击地球的可能性极小（十万分之一的概率）。假如碰撞真的发生，那么它的威力相当于10万枚广岛原子弹，其强大的风暴性大火、冲击波、炽热碎片等足以摧毁像法国那么大的区域。〔相比之下，1908年，差不多有一座公寓楼那么大的更小物体猛烈撞击了西伯利亚的通古斯，其威力约为1000枚广岛原子弹，摧毁了1000平方英里（2590平方公里）的森林，在数千英里之外都能感觉到它所造成的冲击波；它还发出了一种奇怪的白热光，在亚洲和欧洲都能看见，伦敦人在晚上都能够阅读报纸了。〕

因为阿波菲斯总会靠近地球，所以访问这个小行星将不会令美国宇航局预算吃紧；但是，在这个小行星上着陆可能引发一个问题。它的引力场太弱，我们可以与它对接，而不是传统意义上的登陆。另外，这个小行星也许在不规则地旋转，因此在登陆之前必须进行精确测量。测试这个小行星到底有多坚固，一定会是很有趣的。有些人认为，小行星可能是由一些靠微弱的引力场松散地连接在一起的岩石组成的。还有一些人认为，小行星是坚固的。总有一天，测定小行星的密度会是一项重要的事项，但是我们是否必须采用核武器炸开一颗小行星呢。小行星不是被粉碎成细粉末，而是可能分解为几大块。如果这样，那么这些分解的碎片可能比原来的威胁更大。一个较好的主意是，在它接近地球之前，把它推离轨道。



在火星的卫星上着陆

虽然奥古斯丁报告没有支持火星载人探索任务，但是它提出了一个有趣的可能性，即发送宇航员访问火星的卫星——火卫一和火卫二。这些卫星比地球的卫星小多了，因此引力场非常弱。除了节省成本外，登陆火星的卫星还有几个有利之处。

1. 第一，这些卫星可以被用做空间站，并提供一种较低成本的方式分析太空中的行星，而无须访问行星。
2. 第二，它们最终能够提供访问火星的简便方法。火卫一距离火星的中心不足6000英里（9656公里），因此在数小时之内就能快速到达这颗红色行星。
3. 这些卫星可能含有被用做永久性载人基地的洞穴，保护宇航员不受流星和辐射的危害。特别是火卫一，在其一侧有巨大的“斯蒂克尼”（Stickney）陨石坑，这说明该卫星曾遭受巨大流星的撞击，差一点就几乎爆裂；不过，引力作用慢慢地把碎片吸回来，重新聚集成卫星。这次远古的碰撞也许在火卫一上留下了大量洞穴和裂口。



重返月球

奥古斯丁报告中还提到了“月球第一”计划，意味着我们可以重返月球；但是，只有提供更多资金才可行，至少连续10年提供300亿美元。这是不可能的，因此月球计划实际上被取消了，至少在以后的几年里。

被取消的月球探索任务叫做“星云计划”，它由几大部件组成。首先是“阿瑞斯”（Ares）助推火箭，这是自20世纪70年代被封存的老式“土星”火箭之后美国第一枚主要助推火箭。阿瑞斯的顶部是“猎户座”登月舱，可以搭载6名宇航员进入空间站，或者搭载4名宇航员登上月球。然

后是“牛郎星”着陆器，实际在月球上着陆的就是它。

在原来的航天飞机上，运载火箭被放在助推火箭的旁边，所以有很多设计缺陷，比如火箭容易使大块泡沫材料脱落。“哥伦比亚”号航天飞机灾难性的后果就是这样造成的，2003年，它在再次发射途中爆炸解体，损失了7名勇敢的宇航员，其原因就是助推火箭的一块泡沫材料在脱落时撞到航天飞机并在机翼上撞了个洞。在再次发射时，热气穿透“哥伦比亚”号航天飞机的外壳，杀死了里面的所有人并导致飞船爆炸解体。在“星云计划”中，船员舱被直接安排在助推火箭上面，以确保不再出现问题。

由于“星云计划”看起来非常像20世纪70年代的登月球火箭计划，所以新闻媒体曾称之为“针对小行星的阿波罗计划”。“阿瑞斯一号”的助推火箭高达325英尺（99.06米），可与363英尺（110.64米）高的“木星五号”火箭相比。期望它取代原来的航天飞机，把“猎户座”登月舱送入太空。要不是起飞重量太大，美国宇航局原打算采用“阿瑞斯五号”火箭，它高达381英尺（116.13米），而且能够把207吨有效载荷送入太空。“阿瑞斯五号”火箭本应该是月球或火星飞行任务的主要火箭。（虽然阿瑞斯已被取消，但是，据称可能在以后的航天任务中要利用其某些部件。）



永久性月球基地

虽然奥巴马总统取消了“星云计划”，但是他对几个选项还没有做出最终决定。原计划用于把宇航员送回月球的“猎户座”登月舱，现如今被考虑用做国际空间站的分离舱。在经济复苏以后的未来某个时候，另一届政府可能会重新制定月球探索目标，包括月球基地。

在月球上建立一个永久性基地的任务面临着很多障碍。首先是微小陨石。由于月球没有空气，因此太空中的巨石会经常撞击它。我们看看它的表面就清楚了，陨星碰撞形成斑斑凹痕，有些陨星可以追溯到数十亿年之前。

当我在加州大学伯克利分校读研究生时，我曾亲自看到过这样的危险。20世纪70年代初，从太空带回的月球岩石曾在科学界轰动一时。我受邀进入一个从事显微镜分析月球岩石的实验室。我看到的月球岩石似乎很普通，非常像地球上的岩石；但是在显微镜下，我惊呆了！岩石中

有微小的陨石坑，坑中甚至还有更小的凹痕。坑中有坑，我以前可从来没有见过这样的事情。我立刻意识到，在没有大气层的条件下，即使最小的一粒尘埃，当以每小时40000英里（64374公里）的速度撞击你，那么，它杀死你易如反掌，或者至少穿透你的宇航服。（科学家能够明白这些微小陨石所造成的巨大伤害，因为他们可以模拟这些冲击，而且他们在实验室里已经研制出能发射金属小球的巨型炮筒，用于研究这些陨石的撞击力。）

一种可能的解决方案是建立地下月球基地。由于月球上存在着年代久远的火山活动，所以宇航员有可能找到一条通向月球内部的熔岩洞。（熔岩洞是由古老的熔岩流形成的，熔岩流蚀刻出地下洞穴形构造和隧道。）在2009年，宇航员发现了一个像摩天大楼那么大的熔岩洞，可以用做永久性的月球基地。

这种天然洞穴可以低成本地保护宇航员免受宇宙射线和太阳耀斑的辐射。即使是从纽约到洛杉矶横穿大陆的飞行，也可以使我们遭受每小时1毫雷姆的辐射（相当于受到1个牙科X光的辐射量）。对于月球上的宇航员而言，辐射非常强烈，他们需要生活在地下基地里。由于没有大气层，一连串太阳耀斑和宇宙射线的致命辐射会造成宇航员早衰，甚至罹患癌症等直接风险。

还有一个问题，即失重，特别对长时间的太空飞行任务。我曾有机会参观位于俄亥俄州克利夫兰市的美国宇航局训练中心，宇航员要在那里接受各种测试。在我观察的一次测试中，受训宇航员被吊带悬挂起来，身体与地面平行，然后他开始在带有垂直轨道的踏旋器上奔跑。通过在踏旋器上的奔跑训练，美国宇航局科学家在测试受训宇航员的耐力的同时也可以模拟失重状态。

在我与美国宇航局的医生交谈后才了解到，失重状态比我以前想象的更具损坏性。一位医生向我解释说，在美国和俄罗斯宇航员数十年来长期处于失重状态之后，科学家现在意识到他们的身体经受了严重的变化：肌肉、骨骼、心血管系统等发生了明显的退化。数百万年来，我们生活在地球的引力场中，我们的身体也在不断地进化。当长时间置身于较弱的引力场时，我们身体中所有的生物进程就突然陷入紊乱状态。

在太空度过大约一年时间的俄罗斯宇航员，返回地球后他们的身体如此虚弱，只能缓慢地爬行。即使他们在太空中每天进行锻炼，肌肉还是会萎缩，钙从骨骼中流失，心血管系统的机能开始减弱。去一趟火星可能花费两年的时间，也可能耗尽宇航员的精力，于是，当他们到达火星时已经无力执行任务了。（解决这个问题的方案之一，是让航天器旋转起来，这样就能够在太空船中产生人造重力。这与一桶水在你脑袋上方旋转而水没有溢出来是相同的道理。不过，这样做的成本无比昂贵，因为需要有重型机械来使航天器旋转起来。对于该任务来说，每增加1磅的额外重量就会多增加1万美元的成本。）



月球上的水

发现月球上亘古的冰是一个意义重大的转折点，这些冰可能是远古彗星撞击时留下的。2009年，美国宇航局的“月面环形山观测与传感卫星”（LCROSS）探测器及其“半人马座”助推火箭撞击了月球的南极区域，撞击速度为每小时5600英里（9012公里），产生约1英里（1609米）高的烟柱，形成一个直径约60英尺（18.29米）的坑。尽管电视观众对于月面环形山观测与传感卫星（LCROSS）撞击未能引发像预测的那么壮观的爆炸场面而略感失望，但是，它却提供了大量的科研数据。在烟柱中发现了约24加仑（90.85升）的水。于是，在2010年科学家发布了一项震惊世界的公告，百分之五的爆炸残片都含有水。因此，与部分撒哈拉大沙漠相比，月球其实更湿润。

这可是一项重要的发现，因为这可能意味着未来的宇航员可以获取地下冰沉积物，用做火箭燃料（在水中提取氢气），用于呼吸（提取氧气），用于防护（由于水可以吸收辐射），以及净化后用做饮用水。因此，这项发现可能为所有探月任务节省数亿美元的成本。

该重大发现意味着，宇航员以后有可能通过获取月球上的冰和矿物质，建立并供应永久性基地，从而生活在这片陆地上。

中期（2030—2070）



火星探索任务

2010年，当奥巴马总统行至佛罗里达州宣布取消探月计划时，他指出，他期待着火星探索任务取代探月计划。他为一枚尚未指明的重型助推火箭提供资金支持，这枚火箭在未来的某一天会把宇航员送入月球之外的深层空间。他沉思后说，他也许能看到这一天，或许在21世纪30年代中的某一天，到那时我们的宇航员将会在火星上行走。巴兹·奥尔德林等宇航员一直是奥巴马总统计划的支持者，因为该计划将略过月球。奥尔德林曾对我说，美国已经登上月球了，所以真正的冒险是登上火星。

在太阳系的所有行星中，只有火星看起来与地球相似，可能有某种生命形式的存在。〔水星因太阳照射而枯萎，众所周知，不可能有生命存在。而木星、土星、天王星和海王星等气态巨行星都太冷，不能维持生命。金星是地球的双胞胎，但是，其失控的温室效应把它变成了一座地狱：温度高达900℉（华氏度，482℃），其大气层的主要成分，二氧化碳的密度是地球的100倍，而且还有硫酸雨。假如你在金星表面上行走，你会窒息，会被压碎而死，而你的遗骸将被高温烧成灰烬，然后被硫酸溶解掉。〕

相反，火星曾经是一颗像地球一样的湿润的行星，有着在很久以前就消失了的海洋与河床。如今，火星成了一片冰冻的沙漠，毫无生机。也许在数十亿年之前，微生物曾在那里繁衍生息，或者仍然生活在温泉之下。

一旦我们决定开始火星之旅，那么可能需要再花费20—30年的时间才能真正地完成这项任务。但是，到达火星将比到达月球更加困难。与月球相比，火星在难度上要上一个量级。到达月球只需3天，而到达火星则需要6个月到1年的时间。

2009年7月，美国宇航局科学家罕见地研究了现实的火星任务看起来到底像什么。宇航员将用大约6个月或更多时间抵达火星，然后在火星上度过18个月，最后再用6个月时间完成返回航程。

需要把总重量约为150万磅（680吨）的设备送到火星上，超过了价

值1000亿美元的空间站所需的总重量。为了节省食物和水，宇航员在旅途中和在火星期间不得不净化他们自己的垃圾，然后利用这些处理过的垃圾为植物施肥。没有空气、土壤和水，这一切都必须从地球带过来。由于火星上没有氧气、液态水、动物、植物等，所以，宇航员不可能在这片陆地上生活。火星的大气层几乎纯粹是二氧化碳，大气压力仅为地球的百分之一。太空服上任何一个小裂缝都将导致快速降压和死亡。

火星探索任务非常复杂，必须分解成若干步骤。由于返回地球飞行任务中携带火箭燃料的成本非常之高，所以，可能提前向火星发射一枚独立火箭，它携带的火箭燃料将被用于给航天器补充燃料。（或者，如果能够从火星上的冰层里提取足够的氧气和氢气，那么，也可以用于火箭燃料。）

宇航员一旦登上火星，可能需要用数周的时间适应在另一个星球上的生活。火星上的昼夜循环周期与地球上差不多相似（火星上的一天是24.6小时），但是，一年几乎是地球上的两倍。火星温度从不会超过冰的融点。火星上的沙尘暴非常凶猛。火星上砂子的密度与滑石粉的密度一样，经常发生肆虐整个火星的沙尘暴。



火星地球化？

假设宇航员在本世纪中叶访问火星并建立了一个简单的火星前哨基地，那么，他们有可能考虑把火星地球化，也就是说，对火星进行改造，使其更适宜生命的存在。也许将在21世纪末期开始这项工作，最早或者更可能在22世纪初期开始。

科学家已经分析了几种对火星实施地球化的方式。最简单的方式也许是向火星大气层注入甲烷或者其他温室气体。由于甲烷是一种比二氧化碳更强效的温室气体，因此，它能够捕捉太阳光，从而把火星表面温度提升到冰融点之上。除了甲烷之外，科学家还对氨、氯氟烃等其他温室气体进行了分析，看看是否可用于火星地球化实验。

一旦火星表面温度开始上升，那么，地下的永久冻土就开始融化，这可是数十亿年以来第一次解冻。随着永久冻土的融化，河床将开始充满水。最终的结果是，当大气层逐渐变浓密时，湖泊甚至海洋就可能在火星上再次形成，这将释放更多的二氧化碳，从而引发一个良性的反馈循环。

2009年，科学家发现甲烷气体从火星表面自然逸出。甲烷气源仍然是个秘密。在地球上，多数甲烷气体是由有机材料腐烂而形成的。但是在火星上，甲烷也许是地质过程的副产品。如果我们能够找到甲烷气源，那么就有可能提高其产气量，从而改变火星大气层。

还有一种可能性是使彗星转向进入火星大气层。如果我们能对遥远的彗星实施拦截，那么，即使火箭引擎轻轻的推动、航天器的撞击或者宇宙飞船引力的牵引等都足以使彗星偏转。彗星主要由水冰构成，并周期性穿过太阳系。〔比如，哈雷彗星包含形状类似花生的核心，直径约20英里（32.2公里），由冰和岩石构成。〕当彗星渐渐靠近火星表面时，它会遇到来自大气层的摩擦，使彗星慢慢分解，从而向大气层释放蒸汽状态的水。

如果无法使用彗星，还可以使木星的冰卫星之一或者含有冰的小行星转向，譬如“谷神星”（Ceres），据说它含20%的水。（这些卫星和小行星很难转向，因为它们一般处于稳定的轨道中。）除了让彗星、卫星或者小行星在围绕火星运转的轨道中慢慢解体从而释放水蒸气之外，还有一种选择是设法操纵这些星体对火星冰盖进行受控制撞击。火星的极地区域由冰冻的二氧化碳和冰层组成，二氧化碳在夏季会消融，而冰则形成了永久性的冰盖。如果彗星、卫星或者小行星撞击这些冰盖，那么就会释放大量的热能，从而使干冰汽化。由于二氧化碳是一种温室气体，所以它会使大气层变浓密，有助于加速火星全球变暖。它也可能形成良性的反馈循环。从冰盖中释放的二氧化碳量越大，火星将变得更暖和；反过来，变暖的火星将会释放更多的二氧化碳。

另一个建议是在火星冰盖上直接引爆核弹，其缺点是所产生的液态水可能含有放射性沉降物。或者，我们可以在火星上建立聚变反应堆，以此融化火星极地的冰盖。核聚变设备用水做基本燃料，而火星上有大量的冰冻水。

火星温度一旦升高至冰融点，那么将形成水池，于是我们可以把地球南极地区生长的藻类植物引进到火星上。这些藻类植物也许可以在含有95%的二氧化碳的火星大气层中真正旺盛地存活下来。我们也可以对藻类植物进行基因改良，以最大限度地提高它们在火星上生长的可能性。藻类池以几种方式加速火星的地球化进程：首先，它们能够把二氧化碳转换成氧气；其次，它们能够使火星表面颜色变深，从而吸收更多的太阳热量；第三，由于藻类无须外部作用而自行生长，所以，这是改变火星环境条件相对廉价的方法；第四，收获藻类后可用做食物；最后，藻类湖能够产生植物必需的土壤和养分，进而提高氧气的产出量。

科学家已经研究了制造绕火星运转并把太阳光反射到火星上的太阳能卫星的可能性。太阳能卫星本身也许能够使火星表面温度升至零度以上。一旦成功，而且永久冻土开始融化，那么火星就将持续地自行变暖。



经济效益？

我们不应当幻想着通过向月球和火星开拓殖民地就能立刻获得经济效益。1492年，当哥伦布抵达“新大陆”时，他打开了获取历史性“意外之财”的大门。不久，征服者们就把从美洲原著人那里掠夺来的大量黄金运回国内，而移居者把珍贵原料和农作物运回“旧大陆”。向“新大陆”派遣远征探险队的成本远远低于他们赚得的这些巨大财富。

然而，月球或火星上的殖民地与此完全不同。这里没有空气、液态水或肥沃的土壤，因此一切都必须由火箭飞船带过来，其成本非常的昂贵。

再者，月球殖民至少在近期内没有多大的军事价值。这是因为，通常情况下从地球到达月球需要花费3天的时间，反之亦然；而用洲际弹道导弹发动一场核战争仅需90分钟的时间。火星上一支太空装甲部队不可能及时抵达地球参战并决定战役的胜负，因此，五角大楼并没有任何资助将武器运到月球上的应急计划。

这意味着，如果我们真的在其他星球上开始大规模的采矿作业，将会对太空殖民地有利，而不是对地球有利。殖民者将开采金属和矿产为己所用，因为成本太高，他们不会把金属和矿产运回地球。只有当我们建立了能够使用这些原材料的自给自足的殖民地时，在小行星上进行采矿作业才会具有经济效益，而这一切只有在本世纪末期或者更有可能在本世纪之后才能实现。



太空旅游业

普通的老百姓何时才能进入太空呢？普林斯顿大学已故的杰拉德·奥尼尔（Gerard O'Neill）等一些幻想家把太空殖民地想象成一个巨大的轮盘，上面有居住单元、水净化装置、空气循环装置等等，目的是解决地

球人口过剩问题。可是在21世纪，认为太空殖民地将会缓解人口问题的观点充其量只不过是一种天真的幻想而已。对多数人类而言，至少在一个世纪或更长的时间里，地球将是我们唯一的家园。

然而，普通人可能真正进入太空的一种方法：以游客的身份进入。对美国宇航局的巨大浪费和官僚主义持批评态度的一些企业家认为，他们能够用市场力量把太空旅行成本降下来。2004年10月4日，伯特·鲁坦（Burt Rutan）及其投资者因在两周内连续两次成功地把“太空船一号”（SpaceShipOne）发射至距地球仅60英里（96.6公里）的高空而赢得了“安萨里X大奖”（AnsariX Prize）的1000万美元奖金。“太空船一号”是第一个装有火箭发动机的宇宙飞船，成功地完成了由私人资助的太空探险任务。研发成本约为2500万美元。微软公司的亿万富翁保罗·艾伦对此项目提供了担保。

如今，又有了“太空船二号”（SpaceShipTwo），鲁坦计划开始进行试验，希望实现太空飞行的商业化。英国维珍大西洋航空公司（Virgin Atlantic）的亿万富翁理查德·布兰森（Richard Branson）已经创立了“维珍银河公司”（Virgin Galactic），把太空站设在新墨西哥州，有许多人准备花费20万美元实现自己太空旅行的梦想。作为第一家提供商业太空飞行的大公司，维珍银河公司已经订购了5枚“太空船二号”火箭。如果成功，就可能使太空旅行的费用下降百分之十。

“太空船二号”采用若干方法降低成本。鲁坦没有采用巨型助推火箭携带有效载荷进入太空，他把太空船放在一架飞机背上，使其由一架标准喷气式飞机背负运载。用这种方式，飞机仅消耗大气层中的氧气就能达到一定的高度。到达距离地球约10英里（1.6万米）高空时，太空船从飞机上脱离，开启自己的火箭发动机。虽然该太空船不能环绕地球飞行，但是它携带的燃料足以抵达距离地球约70英里（112.7公里）的高度，超越大部分的大气层，于是，乘客可以看到天空先变成紫色，然后变成黑色。该太空船的发动机功率非常强大，可以使飞行速度达到3马赫或音速的3倍〔大约每小时2200英里（3541公里）〕。当然，这样的速度还不能把火箭送入轨道〔需要达到每小时18000英里（28968公里）才行〕，不过，足以把你送到大气层的边缘和外层空间的入口处。在不久的未来，一次太空之旅的成本也许仅等于一次非洲之旅的成本。

〔然而，想要完全围绕地球飞行，你得支付更多费用才能完成登上空间站之旅。我曾经问过微软公司亿万富翁查尔斯·西蒙尼（Charles Simonyi），他花了多少钱购买了一张去空间站的票。媒体报道中估计的票价是2000万美元。他说不愿透露准确的价格，但是他告诉我，与媒体估计的价格相差不远。他竟然两次进入了太空，真是一段美好的时光啊。因此，即使在不久的将来，太空旅行仍将是富人专享的特权。〕

然而，波音公司在2010年9月宣布，根据计划他们将从2015年开始进军太空旅游行业，为游客提供商业太空旅行服务，这等于是给太空旅游业注射了一针兴奋剂，同时也有力地支持了奥巴马总统把载人航天飞

行计划转交给私人企业的决策。根据波音公司的计划，航天飞机将从位于佛罗里达州的卡纳维拉尔角被发射至国际空间站，每次飞行搭载4名机组人员，留出3个座位供太空游客乘坐。可是，波音公司对私人探险自筹资金问题直言不讳：纳税人必须承担大部分费用。波音公司商业船员小组的项目经理约翰·埃尔伯说："这还是一个不稳定的市场。如果我们不得不仅依靠波音公司的投资做这件事而又明知其中的风险因素，那么，我们将不能结束这件商业案例。"



百搭牌（无法预料之事）

太空旅行高昂的费用已经阻碍了太空旅行的商业进程和科研进程，因此，我们需要一个革命性的新设计方案。到本世纪中叶，科学家和工程师将进一步完善助推火箭技术，力争降低太空旅行的成本。

物理学家弗里曼·戴森（Freeman Dyson）已经缩小了试验性技术的范围，这些技术也许有一天会为普通老百姓开启太空旅游之门。虽然这些提案都具有高风险性，但是，它们可能大幅度地降低成本。第一个提案是激光推进发动机；它能在火箭底部发射出大功率的激光束从而引发微爆炸，爆炸产生的冲击波推动火箭上升。一连串稳定的速射激光脉冲使水汽化，从而把火箭推进太空。激光推进系统的主要优势是能量来自陆基系统。激光火箭不携带任何燃料。（相比之下，化学火箭在把燃料重量带入太空时浪费了大量的能量。）

激光推进系统技术已经得到了验证；1997年，模型试验已成功完成。纽约伦斯勒理工学院（Rensselaer Polytechnic Institute）的雷克·迈拉博（Leik Myrabo）已经建立了这种火箭的实用样机，他称之为"光船技术示范者"。早期设计的一个雏形的直径为6英寸（15.24厘米），重量只有2盎司（56.7克）。10千瓦的激光能够在火箭底部产生一连串的激光脉冲，并当气浪以2 *g*的加速度〔是地球重力加速度的两倍，或者每秒钟64平方英尺（5.95平方米）〕推动火箭时，发出机关枪的声音。他已经能够制造光船火箭，升空高度达100多英尺〔相当于20世纪30年代罗伯特·戈达德（Robert Goddard）早期液体燃料推进火箭的升空高度〕。

戴森梦想着这么一天，激光推进系统能够把巨大的有效载荷送入地球轨道，每磅重量只花费5美元，这将给太空旅行带来重大变革。他设想用1000兆瓦的巨型激光把2吨重的火箭送入轨道。（这是一座标准核

电厂的功率输出。）火箭底部携带有效荷载和水箱，水缓缓地从水箱的细孔中漏出。有效荷载和水箱各自重1吨。当激光束冲击火箭底部时，水顷刻汽化，产生一连串的冲击波，把火箭推向太空。火箭加速度达到3 *g*，并在6分钟之内脱离地球引力。

由于火箭没有携带任何燃料，因此，不存在助推火箭发生灾难性爆炸的危险。而化学火箭，即使有50年进入太空时代的功绩，仍然具有约1%的事故率；而且这些事故都是非常惊人的，因为挥发性氧氢燃料会产生巨大的火球，并在发射场到处降下大量的碎片。相比之下，该系统既简单又安全，只用水和激光器，而且可以反复使用，只需短暂的停机检修即可。

此外，该系统最终实现的盈利会大于投资。如果每年采用该系统发射50万艘宇宙飞船，那么发射酬金将会轻松地补偿生产成本和研发成本。然而，戴森明白，这样的梦想是未来数十年之后的事情。巨型激光发射器的基础研究所需要的经费远远超过一所大学所能承受的数额。除非该项研究得到大公司或政府的担保，否则将永远不能建成激光推进系统。

下面谈谈X奖金的有用之处。X奖项是由彼得·戴曼迪斯（Peter Diamandis）在1996年设立的。我曾与他交谈过，他对化学火箭的局限性了如指掌。他直言不讳地告诉我，即使是“太空船二号”也面临着化学燃料火箭摆脱地球引力高昂费用的同样问题。因此，以后的X奖金将授予能够制造出由能量束推进火箭的人。（但是，不是用激光束，而是采用类似的电磁能源，如微波束。）X奖项的大力宣传和数百万美元奖金的巨大诱惑力，足以鼓舞企业家和发明家研制出微波火箭等非化学燃料火箭。

还有其他试验性的火箭设计，但是这些设计都具有不同程度的风险。其中一种可能性是气枪，它可以从巨型气枪中发射抛射物，有点像儒勒·凡尔纳的小说《从地球到月球》中的火箭。然而，凡尔纳的火箭决不能飞行，因为火药不可能以每小时25000英里（40234公里）的速度发射抛射物，该速度是摆脱地球引力的必要速度。相比之下，气枪利用长枪管中的高压气体高速推进抛射物。西雅图华盛顿大学已故的亚伯拉罕·赫茨伯格（Abraham Hertzberg）曾制作过一个气枪雏形，直径为4英尺（1.22米），长度为30英尺（9.15米）。枪里的气体是甲烷和空气的混合体，增压到大气压力的25倍。当气体被点燃时，有效载荷以惊人的30000 *g*的加速度顺着爆炸力攀升，这样的加速度足以摧毁大多数金属物体。

赫茨伯格已经证明气枪是可行的。不过，要把有效载荷送入外层太空，气枪管必须更长，约750英尺（228.6米），还必须沿弹道采用不同的气体。要使推进有效载荷达到逃逸速度，必须在五个阶段采用不同的气体。

该气枪的发射费用甚至低于激光推进系统的发射费用。然而，用这种方式发射宇航人员就太危险了；只有能够承受强烈加速度的固体有效荷载才能采用这种形式发射。

第三个实验设计是“大型离心机”（Slingatron），就像吊在绳子上的球，使负荷沿圆圈旋转，然后抛向空中。

德里克·蒂德曼（Derek Tidman）曾建造了一个雏形，他建造的桌面模型可以在几秒内以每秒3000英尺（914.4米）的速度把物体抛向空中。大型离心机由一个直径为3英尺（91.44厘米）的甜面圈形状的管子构成。管子自身直径是1英寸（2.54厘米），包含一个小钢珠。当钢珠围绕管子滚动时，小发动机把钢珠推起，速度越来越快。

能把负荷抛进外层空间的真正的大型离心机必须特别大，直径应达到数百或数千英尺，可以为钢珠输送能量，直到钢珠达到每秒7英里（11.27公里）的速度。钢珠将以1000 *g*的加速度离开大型离心机，足以压扁任何物体。有许多技术问题需要解决，最主要的问题是钢珠与管子之间的摩擦力，摩擦力必须最小。

如果政府或私人企业能提供资金，那么上述三种设计将需要数十年的时间进行完善。否则，这些模型只能永远停留在设计阶段。

远期（2070—2100）



太空升降机

到本世纪末，纳米技术也许可以把传说中的太空升降机变为现实。就像起重器和豆茎一样，我们或许能够攀入云层，甚至更高。我们只要坐进电梯，按下按钮，然后就沿着数千英里长的碳纳米管纤维不断上升。这种技术可能将太空旅行的经济理论颠倒个个儿。

回到1895年，俄罗斯物理学家康斯坦丁·齐奥尔科夫斯基（Konstantin Tsiolkovsky）从修建当时世界上最高建筑的埃菲尔铁塔中受到启发。他问了自己一个简单问题：为什么不能修建一座通向外层空间的埃菲尔铁塔？他进行了计算，如果足够高，那么用物理学原理支撑的它将永远不会倒塌。他称之为天上的"空中城堡"。

想想悬挂在绳子上的球。使球旋转起来后，离心力足以防止它掉下来。同样地，有足够长的缆绳，那么，离心力将防止它掉回地球。地球的自转也足以使缆绳保持在空中。一旦缆绳延伸到天空，那么沿缆绳上升的电梯厢就能飞入太空。

在理论上这种技术似乎是可行的。但遗憾的是，用牛顿运动定律计算一下缆绳的张力就会发现，比钢的抗拉强度还大：缆绳会突然折断，使太空升降机的梦想化为泡影。

数十年来，人们周期性的重新考虑太空升降机的想法，每次都被这个原因否定了。1957年，俄罗斯科学家尤里·阿特苏塔诺夫（Yuri Artsutanov）对此进行了改进，他提出太空升降机应该自上而下地修建，而非自下而上，即，太空飞船首先被送入轨道，然后将缆绳向下延伸，固定在地球上。还有，科幻小说家阿瑟·克拉克（Arthur C. Clarke）1979年在其小说《天堂喷泉》（*The Fountains of Paradise*）和罗伯特·海因莱因（Robert Heinlein）1982年在其小说《弗里达》（*Frida*）中的描述，都使太空升降机颇受人们喜欢。

碳纳米管帮助人们重新唤醒了这个想法。正如我们已看到的，纳米管的抗拉强度是任何材料中最强的，比钢的强度更大，甚至可以承受太空升降机的拉力。

然后，问题是如何制造出一根50000英里（81467公里）长的纯碳纳米管。这是个巨大的障碍，由于科学家们到目前为止只能制造出仅几厘米长的纯碳纳米管。把数十亿股碳纳米管织在一起制成片材和缆绳是有可能的，但是，这些碳纳米管纤维是不纯的，因为它们是压织在一起的。难题是所制造的碳纳米管中每个碳原子都要在适当的位置上。

2009年，莱斯大学的科学家宣布了一项突破性技术。尽管他们的纤维不纯而且是合成的（即它们不适合太空升降机），但是其方法是通用的，足以制造出任何长度的碳纳米管。他们经过反复试验后发现，碳纳米管可以在氯磺酸（chlorosulphonic acid）溶液中溶解，然后从喷嘴喷出，类似于淋浴喷头。这种方法可能制造出50微米粗，数百米长的碳纳米管纤维。

电力线就是纳米管的一种商业应用，由于碳纳米管比铜线更具导电性、更轻，而且不容易断。莱斯大学工程学教授马特奥·帕斯夸里（Matteo Pasquali）说："用做电力传输线时，需要制造数吨重的碳纳米管，而现在还没有办法做到这一点。但我们距离奇迹不远了。"

尽管这些缆绳不纯，不适合用于太空升降机，但是，该研究表明，总有一天我们或许能够制造出纯的碳纳米管线，其强度足以把我们送入太空。

假如我们在将来能够制造出很长的纯碳纳米管线，但是，仍然会遇到一些实际问题。比如，缆绳超越了大多数卫星的轨道，这意味着卫星轨道在环绕地球多圈之后将最终与太空升降机相交，发生碰撞。这意味着，升降机必须配备特殊火箭才能使缆绳躲避卫星的飞行路线。（图11）

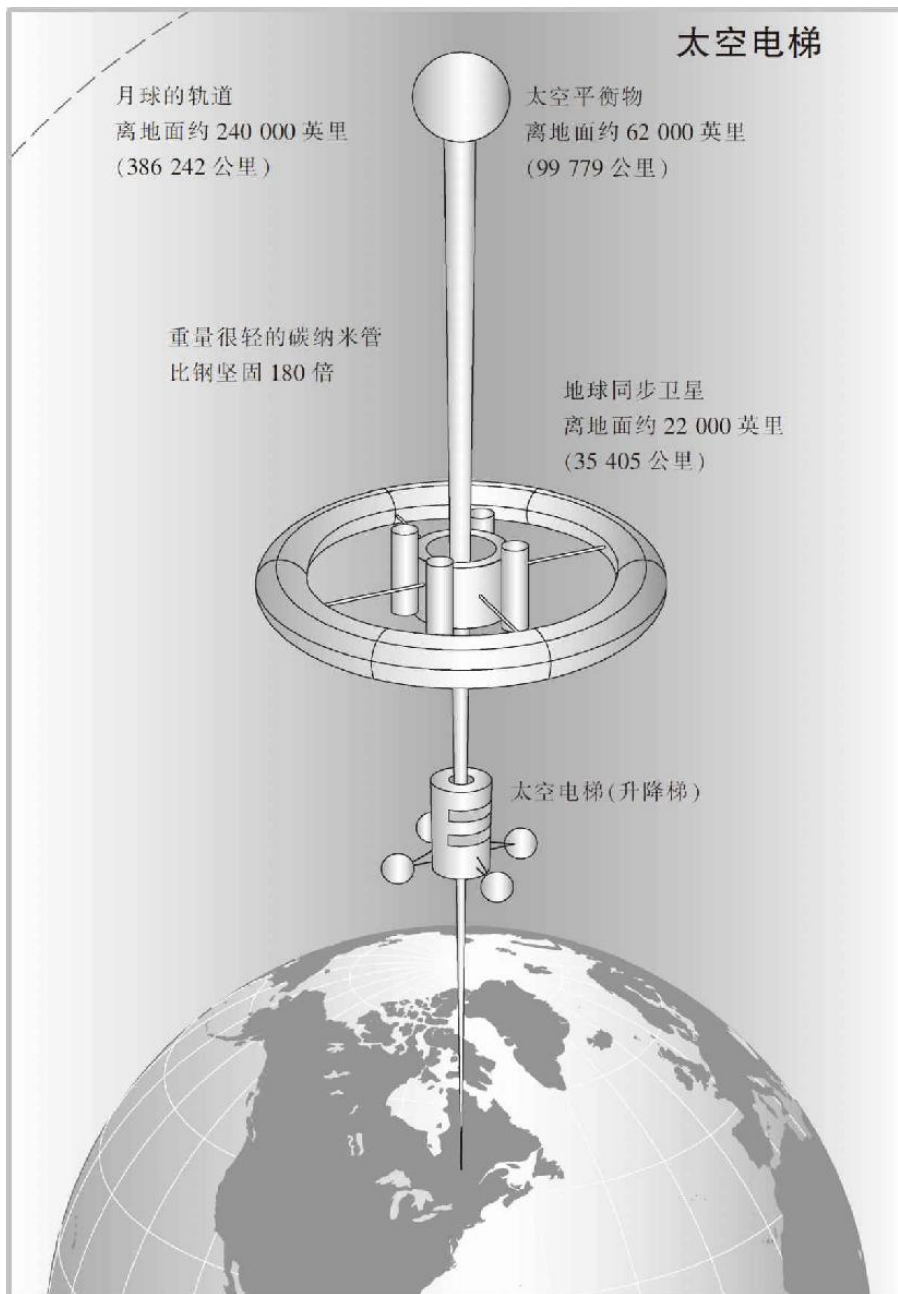


图11　通往天空的太空电梯也许有一天将会极大地降低太空旅行的成本。而实现太空电梯的关键或许是纳米技术。

另一个问题是狂暴的天气，如飓风、雷雨和狂风。太空升降机必须固定在地球上，也许是固定在太平洋中一艘航空母舰上或石油钻探平台上，但是它必须具有灵活性才能避免被强大的自然力量损坏。

还必须配备应急按钮和逃生舱，以防缆绳断裂。如果缆绳突然断

裂，为了挽救乘客生命，升降机厢必须能够滑翔或跳伞，返回到地球表面。

为了启动太空升降机的研究，美国宇航局举办了几次竞赛。美国宇航局太空升降机比赛颁发的奖金总额高达200万美元。根据美国宇航局制定的规则，要赢得“光束能挑战赛”（Beam Power Challenge）冠军，你必须制造一个仅50千克重的设备，在1公里距离的攀爬速度为每秒钟2米。该挑战赛的难度在于设备内不能携带燃料、电池或电线；能量必须从外部束射到设备上。

我曾有机会亲自看到了研制太空升降机、梦想获得该奖项的工程师们所表现出的巨大热情和干劲。我飞到西雅图，在“激光发动机”小组见到了年轻的有创业精神的工程师们。他们听从了美国宇航局竞赛的号召，开始研制有朝一日能启动太空升降机的模型。

他们租用一间大仓库，检验他们的想法；走进仓库后我看到强大的激光能发射出强烈的能量束。在仓库的另一侧，我看见他们的太空升降机，大约300英尺（91.44米）宽的一个盒子，配有大型镜面。激光束射到镜面上，再被反射到一排太阳能电池上，把激光能转化成电能；启动电机，升降机厢就会沿着一根短缆绳缓缓爬升。这样，就不需要电缆从太空升降机上悬吊下来提供能量。我们只要向地球上的升降机发射一束激光，升降机就会自己沿缆绳爬升。

激光很强大，我们都必须戴上特殊护目镜保护眼睛。要经过无数次试运行，不过，他们最终能够发射激光，使设备沿缆绳爬升。至少在理论上来说，太空升降机的一个问题已经被解决。

最初，由于任务难度太大，没有人能赢得该奖。然而，2009年“激光发动机”小组领取了该奖项。竞赛在加利福尼亚州莫哈韦沙漠的爱德华兹空军基地举行。一架直升机飞过沙漠，牵引着一根长长的缆绳。“激光发动机”小组能够让他们的升降机在两天内沿缆绳爬升4次，最短时间是3分钟48秒。于是，我看到这些年轻的工程师们的艰苦努力最终如愿以偿。



星际飞船

尽管最近载人航天任务遇到资金问题，但是到本世纪末，科学家将有可能在火星上，也许在小行星带中建立前哨站。他们下一步将瞄准具

体的星球。虽然今天星际探测器无望飞得更远，但是在100年之内有望实现。

第一个难题是找一个新的推进系统。传统的化学火箭可能需要用大约7万年时间才能到达最近的恒星。比如，1977年发射的两架“旅行者”（*Voyager*）号宇宙飞船就是在把物体送入深层太空方面创造了世界纪录。目前，它们处于大约100亿英里（161亿公里）的空间，但是仅仅是到恒星距离的一个很小的部分。

科学家为星际飞船提出了几种设计方案和推进系统：

- 太阳帆
- 核火箭
- 冲压式喷气聚变
- 纳米飞船

当我在俄亥俄州克利夫兰市参观美国宇航局的李子沟站（Plum Brook Station）时，我有机会见到了一位太阳帆幻想家。在那里，工程师建立了世界上最大的真空室，对人造卫星进行测试。真空室真像个洞穴：100英尺（30.48米）宽，122英尺（37.19米）高，很大，可以容纳几栋多层公寓楼，其面积之大足够在真空空间测试卫星和火箭零部件。走进真空室后，我为如此庞大的项目而感到震慑。不过，我还感到非常荣幸，自己能走进这间曾测试过美国标志性卫星、探测器和火箭的真空室。

我在那儿会见了一位太阳帆的主要研发者，美国宇航局科学家雷斯·约翰逊（Les Johnson）。他告诉我，自从他还是一个阅读科幻小说的小孩起，他就梦想着建造能够到达恒星的火箭。约翰逊曾编写过有关太阳帆的基础教科书。尽管他认为要在数十年之内才能实现，但是，他不得不接受这一事实：甚至在他将来去世后很长时间，都不可能建造出真正的星际飞船。像修建了中世纪大教堂的石匠一样，约翰逊意识到，可能需要几代人才能建造出可以到达恒星的飞船。

太阳帆利用了这一事实：尽管光没有质量，但是它有动量，因此可以施加压力。来自太阳的光压非常小，小到手都无法感觉到，但是，如果有足够大的帆，我们又有足够的时间等待的话，它就能够驱动星际飞船。（太空中的太阳光强度是地球上太阳光的8倍。）

约翰逊告诉我，他的目标是建造一个巨大的太阳帆，由极薄的但有弹性的塑料制成。太阳帆将有数英里宽，在外层空间修建。一旦组装起来，它会慢慢地围绕太阳旋转，获得越来越多的动量。绕太阳旋转几年之后，它就旋转脱离太阳系，到达恒星上。他对我说，这样一个太阳帆能够使探测器的速度达到光速的0.1%（每秒300公里），也许在400年后到达最近的恒星。

为了缩短抵达恒星的必要时间，约翰逊经过研究决定给太阳帆增加一个推进器。一种可能性是在月球上放置一组大型激光装置。激光束射到帆上，在帆朝着恒星飞行时增加帆的动量。

由太阳帆驱动的宇宙飞船面临的一个问题是很难停止和转向，因为光是从太阳向外运动的。一种可能性是使太阳帆的飞行方向倒过来，利用目标恒星的光压让飞船减速。另一种可能性是围绕远距离恒星飞行，利用该恒星的引力在返回途中产生弹弓效应。还有一种可能性是在卫星上降落，建造激光电池，然后背对恒星光和卫星激光束飞行。

尽管约翰逊有着远大的星球梦想，但是他知道现实比梦想更实际。1993年，俄罗斯人从“和平”号空间站在太空部署了一个直径为60英尺（18.29米）的聚酯反射镜，不过，其目的仅是演示展开。第二次尝试失败了。2004年，日本人成功地发射了两个太阳帆模型，不过还是为了对展开进行测试，而不是推进。2005年，宇宙工作室、行星协会以及俄罗斯科学院进行了一次大胆尝试，在太空部署了被称为“宇宙1号”的真正的太阳帆。它是从俄罗斯一艘潜艇上发射的。然而，“波浪”号火箭点火失败，未能到达轨道。2008年，一个美国宇航局小组尝试发射所谓的“纳米帆D”，不过当“猎鹰1号”火箭失败时，它失踪了。

2010年5月，日本太空开发署最后成功地发射了“伊卡洛斯”（IKAROS）太阳帆，是利用太阳帆技术在星际空间发射的第一艘宇宙飞船。该帆呈正方形，对角线长60英尺（18.29米），利用太阳帆推进系统向金星飞去。日本人希望，最终能够利用太阳帆推进系统向木星发射另一艘飞船。



核火箭

科学家还考虑用核能驱动星际飞船。从1953年开始，原子能委员会就着手认真研究携带原子反应堆的火箭，从“漫游者计划”开始。在20世纪五六十年代，核火箭实验基本都以失败告终，因为它们太不稳定、太复杂，无法处理。再者，我们可以很容易地证明，普通的聚变反应堆不能产生驱动星际飞船的能量。一座典型的核电厂的发电量约为10亿瓦，这样的能量不足以抵达恒星。

但是在20世纪50年代，科学家提议采用原子弹和氢弹而非反应堆为星际飞船提供动力。比如，“猎户座计划”提出的火箭是由原子弹爆炸所

产生的一连串核冲击波推进的。星际飞船可以从其后面丢下许多原子弹，产生一系列强大的X射线冲击波，然后冲击波会推动星际飞船向前飞行。

1959年，通用原子公司的物理学家估计，一艘先进的“猎户座”号飞船重量可达800万吨，直径400米，需要1000颗氢弹提供动力。

弗里曼·戴森是“猎户座”号飞船计划的一位热心支持者。他说：“对我而言，猎户座计划意味着让整个太阳系对生命开放。这将改变历史。”也许这是清除原子弹的简便方法。他说，“一次太空之旅，我们可以清除掉2000颗原子弹。”

然而，1963年出台的《全面禁止核试验条约》扼杀了“猎户座计划”；该条约禁止实行核武器地面实验。没有了实验，物理学家无法对“猎户座”项目的设计进行改进，于是该项目终止。



冲压喷气聚变

1960年，罗伯特·W.巴萨德（Robert W . Bussard）提出了另一个核火箭建议；他把聚变发动机想象成类似普通的喷气式发动机。冲压喷气式发动机吸取前面的空气，然后与燃料进行内部混合。点燃空气和燃料混合物后，产生化学爆炸，形成推力。他设想着把相同的基本原理应用于聚变发动机上。冲压喷气聚变不吸取空气，而吸取星际空间到处可见的氢气。氢气被电场和磁场挤压、加热，直到氢气融合成氦，这个过程释放大量的能量，引发爆炸，然后产生推力。由于在深层空间存在着取之不尽的氢气，因此，我们可以想象得到，冲压喷气聚变发动机能够永久运行。

冲压喷气聚变火箭的各种设计方案就像冰激凌蛋卷。铲勺收集氢气，送入发动机，在发动机里，氢气被加热并与其他氢原子融合。根据巴萨德的计算，如果1000吨的冲压喷气式发动机能够保持32英尺（9.75米）/秒^{2}的加速度（或者在地球上感到的重力），那么，仅在一年之后，它就能接近77%的光速。由于冲压喷气式发动机可以永久运行，所以，根据火箭飞船宇航员推测，从理论上说，在仅23年之后它可以摆脱太阳系，到达距离地球200万光年的仙女座星系。（正如爱因斯坦的相对论所述，在高速运行的火箭中，时间就会变慢，于是，即使在地球上过了数百万年，而宇航员的年龄仅增长23岁。）

冲压喷气式发动面临着几大问题。第一，由于质子主要存在于星际太空中，所以聚变发动机必须燃烧纯氢气，不可能生产那么多的能量。（融合氢气的方法很多。在地球上，最好的方法是融合可以产生大量能量的氘和氚。科学家发现，外层空间中的氢是单个质子，因此，冲压喷气式发动机只能用质子融合质子，其产生的能量不如融合氘和氚所产生的能量多。）然而，巴萨德表示，如果我们给燃料混合物添加一些碳对其进行改良，那么，作为催化剂的碳就能够产生大量的能量，足以推动星际飞船。

第二，铲勺必须足够大，近似于160公里，才能收集足够的氢气，因此，必须在太空中组装铲勺。

还有一个尚未解决的问题。1985年，罗伯特·祖布林（Robert Zubrin）、丹纳·安德鲁斯（Dana Andrews）等工程师表示，冲压喷气式发动机受到的拖曳力必须非常强大，以防止发动机加速至接近光速。拖曳力是星际飞船在经过氢原子场时所遇到的阻力形成的。但是，他们的计算结果主要基于可能不适用于未来冲压喷气发动机的某些假设。（图12）

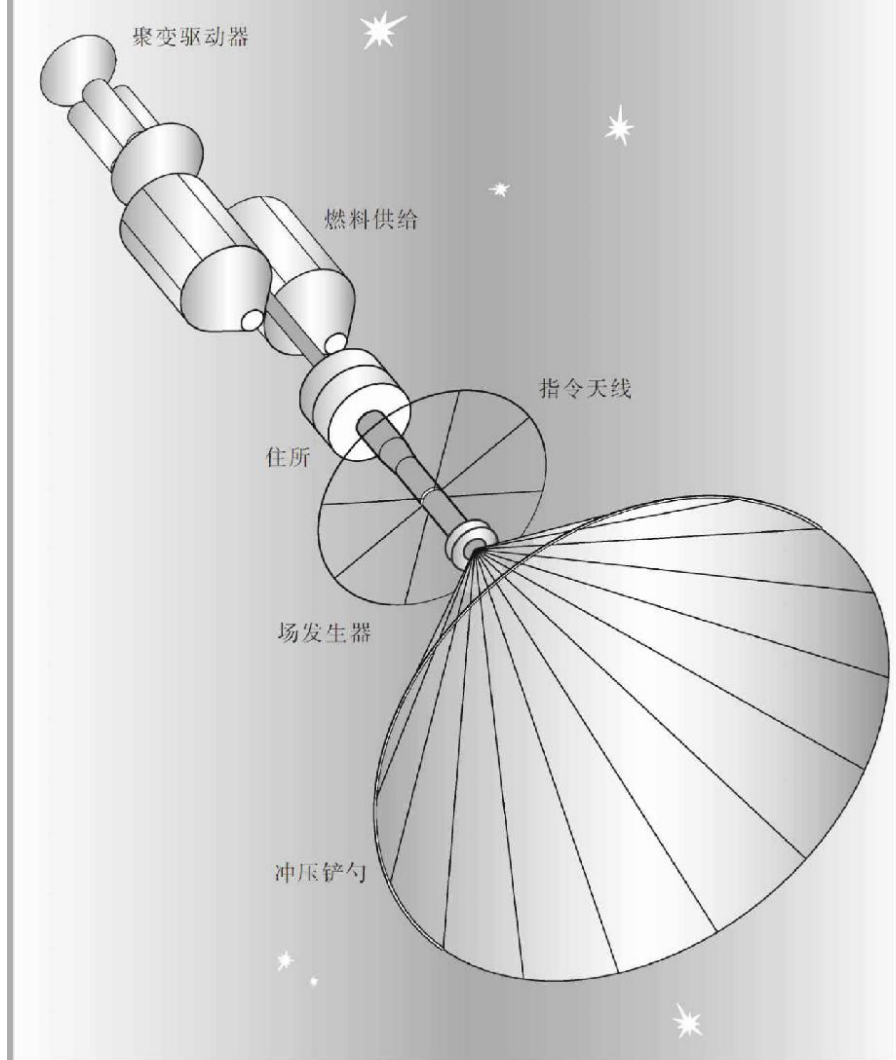


图12　聚变火箭。由于冲压喷气式发动机从星际空间汲取氢气，因此从理论上说，它可以永久运行。

目前，在我们更好地掌握聚变过程（以及太空离子的牵制效应）之前，冲压喷气聚变发动机仍然没有定论。不过，如果能够解决这些工程设计问题，那么，冲压喷气聚变发动机必将指日可待。

反物质火箭

另一个不同的可能性是利用宇宙中最强大的能源，反物质，为飞船提供动力。反物质，即物质的对立面，带有反电荷；比如，一个电子带有负电荷，而反物质的电子（正电子）则带有正电荷。反物质与普通物

质接触后就会毁灭。事实上，一茶匙反物质所具有的能量足以摧毁整个纽约市区。

反物质具有的能量是如此之大，以致丹·布朗（Dan Brown）在其小说《天使与魔鬼》（*Angels and Demons*）中塑造的一群反派角色，利用从瑞士日内瓦郊外的欧洲核子研究组织（CERN）偷来的反物质制造了一颗炸弹，准备炸毁梵蒂冈。与有效率仅为1%的氢弹不同，反物质炸弹的有效率可达100%，它利用爱因斯坦$E=mc2$方程式把物质转化成能量。

原则上，反物质可以用做星际飞船火箭的理想燃料。宾夕法尼亚大学的杰拉尔德·斯密斯（Gerald Smith）估计，4毫克反物质可以把我们送上火星，100克反物质或许就把我们送上最近的恒星。在相同重量条件下，反物质释放的能量是火箭燃料的10亿倍。看起来反物质发动机似乎很简单。我们只要把一些反物质粒子稳稳当当地放入火箭燃烧室，反物质与普通物质结合，就会发生巨大的爆炸；然后，爆炸气体从燃烧室一端喷出，形成推力。

我们的梦想还很遥远。到目前为止，物理学家已经能够制造反电子、反质子和反氢原子，其反电子围绕反质子旋转。欧洲核子研究组织（CERN）做到了这一点，还有位于芝加哥郊外的费米国家加速器实验室（费米实验室）在其粒子加速器——世界第二大原子击破器或粒子加速器（排名仅次于CERN的大型强子碰撞加速装置）中也做到了这一点。两家实验室的物理学家都把一束高能粒子射向目标，产生一大批含有反质子的碎片。用强大的磁铁把反物质从普通物质中分离。然后，反质子减慢速度，与反电子混合，形成反氢原子。

费米实验室的物理学家戴夫·麦金尼（Dave McGinnis）对反物质的实用性进行了长期艰难的思考。站在粒子加速器旁边时，他对我说明了令人望而生畏的反物质经济问题。他强调说，已知唯一的生产大量稳定反物质的方法是利用类似于粒子加速器的原子击破器；这些设备极其昂贵，而且只能生产小量的反物质。比如，2004年，欧洲核子研究组织的原子击破器以2000万美元的代价仅生产出了几万亿分之一克的反物质。按照这样的速度，要生产出为星际飞船提供动力的反物质，可能要耗尽地球全部的经济。他强调说，反物质发动机并非一个不着边际的想法，而是符合物理定律的。但是，在近期来看，建造一台反物质发动机的成本令人望而生畏。

反物质之所以如此昂贵的原因之一，是生产反物质的原子击破器非常之昂贵。然而，这些原子击破器都是多用途设备，设计的目的是生产奇异的亚原子粒子，不是用于生产被大家熟知的反物质粒子。他们只是研究工具，不是商业设备。可以想象，如果我们能设计出可以生产大量反物质的新型原子击破器，那么其成本就会大幅度下降。因此，大量制造这些设备，就有可能制造出大量的反物质。美国宇航局的哈罗德·格瑞斯（Harold Gerrish）认为，反物质的成本可能最终降到每毫克5000美

元。

另一种可能性是在外层太空中寻找一颗反物质陨星。如果找到这样一颗陨星，我们就可以为星际飞船提供足够的能量。实际上，2006年发射的欧洲卫星“PAMELA”（反物质物质有效载荷探索与轻核天体物理学），具体任务就是在外层太空寻找自然生成的反物质。

如果在太空找到大量反物质，那么我们就能设想采用大型电磁网收集反物质。

尽管我们可以肯定反物质星际火箭符合物理定律，但是，也许要到本世纪末才可以降低其成本。如果可以做到一点，那么，我们大家就有望看到用于推动星际飞船的反物质火箭诞生的那一天。



纳米飞船

当我们被电影《星球大战》或《星际迷航》中的特技效果搅得眼花缭乱时，我们立刻想到一个充满了最新高科技的、巨大的、未来的星际飞船。不过，另一种可能性是利用纳米技术制造一艘小型星际飞船，或许不如一个顶针或针头那么大，甚至更小。我们带有偏见地认为，星际飞船一定非常庞大，就像“奋进”号航天飞机那么大，能够容纳一组宇航员。但是，星际飞船的基本功能是可能被纳米技术小型化的，这样，我们就可以把数以百万计的微型纳米飞船送上附近的行星，不过只有其中的一小部分能真正抵达恒星。一旦它们到达附近的恒星，它们就会建造一个工厂，无限制地自我复制。

互联网原创者之一的温特·瑟夫（Vint Cerf）认为，小型纳米飞船不仅能探测太阳系，还能最终对行星本身进行探测。他说：“建立小而强大的纳米级设备将能有效地对太阳系进行探测，这些纳米设备运输简便，很容易被送到与我们相邻的恒星和卫星大气层的表面、表面之下或进入大气层……我们甚至可以推断出进行星际探索的可能性。”

在自然界，哺乳动物仅生育少许后代，并确保它们全部成活。昆虫能够生育大量后代，仅极少部分可以成活。两种不同的方法可以让这两个物种生存数百万年之久。同样的道理，我们不是向恒星发送单一的、昂贵的星际飞船，而是发送数百万艘小型星际飞船，每艘花费不多而且又不消耗太多火箭燃料。

这种想法是在发现自然界一个非常成功的适应性变化之后形成的。鸟类、蜜蜂和其他飞行动物往往都是成群或蜂拥飞行。成群飞行不仅能够保证物种数量的安全性，而且还能起到预警作用。如果蜂群某部分发生危险的扰动，如食肉动物的袭击等，危险信息就会很快传到蜂群的其他部分。它们还能十分有效地利用能量。当鸟以典型的V字形图案飞行时，危险信息引起的警觉和扰动会使每只鸟减少飞行时的必要能量。

科学家把成群动物称为“超个体”（superorganism），即似乎具有自己的智慧的群集动物，不受任何单个个体能力的影响。比如，蚂蚁具有非常简单的神经系统和微小的大脑，但是当它们聚集到一起时就能够构筑复杂的蚁冢。科学家希望借鉴自然界中的这些经验，设计成群的机器人，有朝一日让它们完成通向其他行星和恒星之旅。

这类似于五角大楼追寻的一个假想概念，即智能微尘：数十亿微粒被送入大气，每颗粒子配有微型传感器，进行探测工作。单个传感器不是很智能的，但是，众多传感器一起就能分程传回大量的数据。位于五角大楼的国防高级研究规划局（DARPA）已经为该项研究提供资金，用于可能的军事目的，比如在战场上监视敌军阵地。在2007年和2009年，美国空军发布了形势分析文件，详细阐述了未来几十年的计划，提纲式地描述了“掠夺者”（*Predator*）号航天飞机（目前单架的成本是450万美元）的高级设计方案，以及比飞蛾还小的、成本低廉的微型传感器群等情况。

科学家对此概念也有兴趣。他们可能会发射智能微尘，在发生飓风、雷暴、火山喷发、地震、洪灾、森林火灾以及其他自然现象时，即刻监测成千上万的位置。比如，在电影《龙卷风》（*Tornado*）中，我们看到一帮勇敢的追逐风暴者，冒着生命危险把传感器放在龙卷风周围。这不是非常有效的方法。无须让少数科学家在火山爆发或龙卷风发生时放置几个测定温度、湿度和风速的传感器，智能微尘可以在数百英里范围内一次性给我们提供成千上万个不同位置中的数据。数据被输入计算机后，就会立刻告诉我们有权威的飓风或龙卷风爆发的实时3D资料。已经成立了商业化合资企业推销这些微型传感器，有的传感器还没有大头针针头那么大。

纳米飞船的另一个优势是，需要非常少的燃料就能把它们送入太空。以令人难以置信的速度把微型物体送入太空是相对容易的，不需要使用大型助推火箭就能达到每小时25000英里（40234公里）的速度。实际上，利用普通的电场就能很容易地以接近光速的速度发射亚原子粒子。纳米粒子携带较小电荷，用电场很容易加速。

无须使用大量能源把一个探测器送上另一颗卫星或行星，单个探测器也许能够进行自我复制，建造整个工厂甚至卫星基地。然后，这些自我复制探测器点火起飞，对其他世界进行探测。（问题是如何制造第一个自我复制的纳米探测器，这仍然是遥远的未来的事情。）

1980年，美国宇航局对自我复制机器人探测器想法的态度非常认真，在圣克拉拉（Santa Clara）大学成立了“航天任务高级自动化”特别研究小组，研究了几种可能性。美国宇航局科学家研究的一种可能性是把小型的自我复制机器人送上月球。机器人在月球上利用其土壤进行无限制的自我复制。

多数报告是关于在月球上修建化学工厂加工月球岩石（被称为风化层）的细节问题。以机器人为例，在月球上登陆后，机器人自行解体，然后重新排列其部件，建造新工厂，就像一个变形机器人玩具。比如，机器人可以制造抛物面反射镜，使太阳光聚集，融化风化层；然后，利用氢氟酸以水蛭吸血法开始加工风化层，提取可用矿物质和金属；再用金属建造月球基地。最终，机器人修建一座小型月球工厂，完成自我复制。

2002年，美国宇航局“高级概念研究所”在这个报告的基础上，开始为一系列基于自我复制机器人的项目提供资金。康奈尔大学的梅森·佩克（Mason Peck）是对在芯片上建造星际飞船的提案非常重视的一位科学家。

我曾有机会在实验室里拜访了佩克，他的工作台上布满了可能最终被送入轨道的各种零部件。他的工作台旁边是一间小而干净的房子，整个墙面用塑料遮盖，那是组装卫星的精密零部件的地方。

他对太空探索的幻想与好莱坞电影呈现给我们的幻想完全不同。他设想的太空探测器是一个微芯片，尺寸只有1厘米，重量仅为1克，可以被加速到光速的1%—10%（每秒3000—30000公里）。他利用美国宇航局使用的能让宇宙飞船加速到巨大速度的弹弓效应。这种重力助推的方法包括发射一艘宇宙飞船使之围绕行星运行，就像从弹弓射出的石子，然后利用行星的引力再提升宇宙飞船的速度。

但是佩克不想用引力，而用磁力。他的想法是发射微芯片宇宙飞船，围绕木星的磁场运行，木星磁场比地球磁场大2万倍。他计划采用在原子击破器中使亚原子粒子达到数万亿电子伏的磁力给纳米星际飞船加速。

他给我看了一个芯片样品，他认为，有一天该芯片可以围绕木星运行。芯片呈方形，体积比手指尖还小，上面密密麻麻地布满了系统电路。他设计的星际飞船非常简单。芯片的一面是太阳能电池，为通讯提供电能；另一面上有无线电发射器、摄像机和传感器。芯片没有发动机，因为它仅靠木星的磁场推进。（自1998年以来，为该项目和其他创新型项目提供资金的美国宇航局高级概念研究所因预算削减而令人遗憾地于2007年关闭。）

因此，佩克设想的星际飞船与我们在科幻小说中看到的星际飞船截然不同。科幻小说描写的巨型星际飞船由一组鲁莽的宇航员驾驶着涌入

太空。比如，如果在木星的一颗卫星上修建了基地，那么，我们可以把大量的微型芯片送入围绕那颗巨行星运行的轨道。如果在这颗卫星上也修建了激光电池，那么这些芯片与激光碰撞后就会被加速，直到其速度达到零点几的光速。

随后，我问了他一个简单的问题：你能利用纳米技术把芯片缩小到分子那么小吗？这样，我们不用木星的磁场加速这些芯片，而采用在卫星上建立的原子击破器以接近光速发射分子那么小的探测器。他表示同意，这是一种现实的可能性，只不过他还没有想出详细方案。

于是，我们拿出一张纸，一起开始思考这种可能性的方程式。（这就是我们的研究科学家相互协作的方法，走到黑板跟前，或者拿出一张纸，记下方程式，解决一道难题。）我们写下佩克用于加速其芯片围绕木星运行的洛伦兹力方程式，然而，我们把芯片的尺寸缩减到分子那么小，把它们放入类似于欧洲核子研究组织（CERN）大型强子对撞机的假想加速器。我们很快看到，方程式允许仅用基于卫星的传统原子加速器就能加速几乎达到光速的纳米星际飞船。由于我们把星际飞船的尺寸从一枚芯片缩减到一个分子，因此，我们就能够把加速器的尺寸从木星尺寸缩减到传统的原子击破器。看起来这个想法有实现的可能性。

然而，我们在对方程式进行分析之后一致认为，唯一的问题是这些精密的纳米星际飞船的稳定性。加速度最终会把这些分子撕裂开吗？像一个球悬吊在一根绳子上一样，这些分子在被加速至接近光速时会经受离心力的作用。而且，这些分子会带电，所以即使是电动力也能把它们撕开。我们得出的结论是纳米飞船的可能性是有把握的，不过，还需要数十年的研究才能把佩克的芯片尺寸缩减到分子尺寸并对其进行加固，使之不会在被加速至接近光速时解体。

梅森·佩克的梦想是把一大群芯片送上最近的恒星，他希望其中的某些芯片能够飞越星际太空，实现在恒星上登陆。但是，它们抵达恒星后该做些什么呢？

硅谷卡内基梅隆大学的张佩（Pei Zhang）就是从事这方面研究工作的。他制造了一个迷你型直升机机群，某一天，这个机群可能登上另一个行星。他自豪地向我展示了他的微型机器人，类似于玩具直升机，看起来似乎靠不住。我看到每个机器人的中心有一个布满了精密电路系统的芯片。只要按下按钮，他就能把4个微型机器人发射升空，它们在空中朝着各个方向飞行，并传回资料。不久，我就被一群微型机器人包围了。

他告诉我，这些微型机器人的目的是在发生火灾、爆炸等紧急事件时进行侦察、监测，并提供重要援助。这些微型机器人最终会配有电视摄像机和传感器，对紧急情况时反映危险程度的温度、压力、风向等资料进行监测。我们可以把成千上万个微型机器人送入战场、火灾现场，甚至地球之外的领域。微型机器人之间也保持相互通讯。如果一个微型

机器人碰到障碍物，它就会用无线电把信息发送给其他微型机器人。

因此，对太空之旅的一种设想，是把由像梅森·佩克这样的人设计的、成千上万个成本低廉的一次性芯片，以接近光速的速度发射到太空。一旦少量的芯片抵达目的地，那么它们就展开翅膀和桨叶，飞越外星人的领域，就像张佩的微型机器人一样。然后，它们用无线电把数据传回地球。一旦发现有希望的行星，我们就发射第二代微型机器人，在这些行星上建造工厂，复制更多的微型机器人，它们再飞向其他恒星。这个过程无限期地持续下去。



离开地球？

到2100年，有可能我们已经把宇航员送上火星和小行星带，也完成了对木星卫星的探测，开始把探测器送上恒星的第一阶段探索。

但是，人类该怎么办？我们是否要在外层空间寻找一个新的家园，建立缓解世界人口压力的太空移民区？到2100年人类将开始离开地球吗？

答案是否。考虑到这样做的成本，到2100年甚至更远，大多数人类将不会登上一艘宇宙飞船访问其他行星。尽管少数宇航员已经在行星上建立了小型前哨基地，人类本身将留在地球上。

鉴于地球将在以后的几个世纪里仍然是人类的家园，另一个问题就出现了：文明本身将如何进化？科学将对我们的生活方式、工作和社会造成怎样的影响？科学推动繁荣，那么，科学将如何重塑我们未来的文明和财富呢？

7．未来的财富　赢家与输家

技术和意识形态正在动摇21世纪资本主义的基础。技术正在把技能和知识变成可持续性战略优势的唯一资源。

——莱斯特·瑟罗（Lester Thurow）

在神话故事中，大帝国的兴衰取决于其军队的力量和机敏程度。罗马帝国的军事统帅在进行果断的军事行动之前都在战神马尔斯（Mars）神庙拜神。雷神托儿（Thor）的赫赫传奇战功鼓舞着维京人（北欧海盗）进行英勇的战斗。古人为众神修建了庞大的庙宇和纪念碑，纪念他们抗击敌军战斗的胜利。

但当我们分析伟大文明的实际兴衰时，我们发现完全不是那么回事。

假如你是来自火星的外星人，在1500年时访问地球，而且看到了各种伟大文明，你认为哪种文明会最终统治人类世界？答案可能很简单：除欧洲文明之外的任何文明。

在东方，你会看到延续了一千年的伟大的中华文明。中国人首创的发明无与伦比：纸张、印刷术、火药、指南针等。中国的科学家是世界上最了不起的科学家。中国实行统一政府，中国大陆一派和平景象。

在南方，你会看到差一点就征服欧洲的奥斯曼帝国。伟大的伊斯兰文明发明了代数学，推动了光学和物理学的进步，命名了许多恒星，艺术和科学处于鼎盛时期，庞大的军队无可匹敌。伊斯坦布尔是世界上学术科学的重要中心之一。

你还可以看到备受宗教原教旨主义、巫女审判、宗教裁判所等蹂躏不堪的可怜的欧洲诸国。自罗马帝国衰落后持续一千年萎靡不振的西欧，极其落后，成了技术净进口国。这段时期就是中世纪黑洞时期。罗马帝国的知识早已丧失殆尽，取而代之的是令人窒息的宗教天条。反对派或异议者常常遭受拷问或更残酷的折磨。不仅如此，欧洲城邦之间频频爆发战乱。

到底发生了什么？

当伟大的中华帝国和奥斯曼帝国进入500年的技术停滞期时，欧洲开始史无前例地热衷于科学和技术。

从1405年开始，中国的明成祖（中国明代第三朝皇帝）下令庞大的海军舰队，当时是世界上规模最大的舰队，远征世界各地进行探测。（仅一艘军舰就可以容纳哥伦布的三只小型军舰。）明成祖共派遣了七

次庞大的远征舰队，每一次的规模都比前一次大。舰队航行绕过东南亚海岸，抵达非洲、马达加斯加岛，甚至更远，从地球遥远的另一端带回了大量的货物、精美的食物、异国情调的动物等。有一些绝好的非洲长颈鹿的木刻精品摆放在明朝的动物园中以示炫耀。

可是，中国的统治者也感到有些败兴。那里就这么多东西吗？那些可以与中国人对抗的大军去哪儿了？外部世界给我们提供的仅仅是这些新奇的食物和奇怪的动物吗？后来的中国统治者没有了远征的兴趣，任由伟大的海军舰队腐朽糜烂，最后被烧毁。中国逐渐与外部世界隔离，当世界进步时，它却停滞不前。

奥斯曼帝国的态度与中国一样。在征服了大多数他们知道的世界之后，奥斯曼帝国开始自我封闭，信奉宗教原教旨主义，从此进入长达数世纪的停滞期。马来西亚前首相马哈迪尔·穆罕默德（Mahathir Mohamad）曾说："伟大的伊斯兰文明的衰落是由于穆斯林学者把《古兰经》教诲的知识解释为唯一的宗教的知识，而其他知识都是非伊斯兰教的。因此，穆斯林教徒停止学习科学、数学、医学以及其他被称之为世俗的学科。相反，他们花费大量的时间争论伊斯兰教义及其释义，争论伊斯兰法学理论和伊斯兰教修炼仪式，导致伊斯兰公社的解体，促成无数教派、邪教和学派的诞生。"

然而，在欧洲开始了一场大觉醒运动。在古登堡（Gutenberg）印刷机的大力推进下，贸易带来了新观念和革命思想。宗教在统治欧洲一千年之后，其影响力开始减弱。各大学不再关注《圣经》晦涩难懂的释义，转而关注牛顿物理学和道尔顿化学以及其他学科的应用。耶鲁大学的历史学家保罗·肯尼迪（Paul Kennedy）还给出了一个欧洲迅速崛起的因素：势均力敌的欧洲强国之间几乎恒定的战争状态，使它们都不能统治欧洲大陆。相互间战事不断的君主们为进一步实现扩展领土的野心，为科学和工程提供了资金。科学不仅仅是一种学术活动，而且是制造新式武器和创造新财富的有效途径。

不久，欧洲在科学技术上的崛起开始唤醒中国和奥斯曼帝国的力量。当欧洲船员开辟通往新大陆和东方的贸易航道，特别是绕过非洲和中东时，曾经因作为东西方贸易的必经之道而辉煌数世纪的穆斯林文明已经摇摇欲坠了。中国发现自己被欧洲战舰瓜分了，然而具有讽刺意味的是，欧洲的战舰正是利用了两项中国最重要的发明：火药和指南针。

"发生了什么？"这个问题的答案非常清楚明了：就是科学和技术。科学和技术是繁荣的动力。的确，谁忽视了科学和技术，必定自食其果。这个世界不会因为你朗读几句宗教经文就停止不前。如果你不能掌握最新的科学技术，你的对手就会掌握主动。



掌握四种力

但确切地说，这匹欧洲黑马在经过数世纪的愚昧无知时期后，是如何突然超过中国和穆斯林世界的呢？在这次非凡的超越里，存在着社会和技术的因素。

我们分析了1500年之后的世界历史后才明白，欧洲为下一次巨大进步做好了充分准备。随着封建主义社会的衰落，商业阶层快速崛起，文艺复兴之风迅速盛行。然而，物理学家从支配宇宙的四种基本力上观察这次伟大的转变。这四种基本力可以解释我们周围的任何事情，包括机器、火箭、炸弹以及恒星和宇宙本身。也许改变社会趋势已经为转变创造了条件，但是，最终把欧洲推向世界强国前茅的原因是他们掌握了这些力量。

第一种力量是把我们固定在地球上的引力，它防止太阳发生爆炸，确保太阳系结合在一起。第二种力量是电磁力，它点亮我们的城市，激活我们的发电机和发动机，给我们的激光器和计算机提供能量。第三种和第四种力量分别是弱核力和强核力，核力使原子核聚集在一起，照亮天空中的恒星，并在太阳中心产生核火力。在欧洲，这四种力先后被拆开和阐明。

每当其中一种力被物理学家理解时，人类的历史就发生巨大变化，而欧洲具有开发这种新知识的理想条件。当艾萨克·牛顿看到苹果落地、凝视月亮的时候，他问了自己一个永远改变人类历史的问题：如果苹果可以掉下来，那么，月球也会掉下来吗？在他20岁时他就具有敏锐的洞察力，他意识到，抓取苹果的力量与伸手抓取天空中行星和彗星的力量是相同的。他开始应用自己发明的新数学理论，微积分，绘制行星和卫星的轨迹，并首次解开了天体运动的奥秘。1687年，他出版了自己的经典之作《自然哲学的数学原理》（*Principia*），可以说是科学著作中最重要的一本书，位列人类历史中最有影响力的书籍前茅。

更重要的是，牛顿引入了一种新的思维方式——力学，即我们可以通过各种力，计算出移动物体的运动情况。我们不再受制于心灵术、心魔、幽灵等荒诞的念头；相反，我们知道了物体因明确定义的力而运动，这些力是可测量的，也是可驾驭的。这就是牛顿力学。有了力学，科学家可以准确地判断机器的运行特性；反过来，又为蒸汽机和机车奠定了基础。以蒸汽为动力的复杂机器的复杂的动力学可以用牛顿定律，系统地一个螺栓一个螺栓、一个杠杆一个杠杆地拆开。因此，牛顿对引

力的论述是欧洲“工业革命”的理论基础。

19世纪，还是在欧洲，迈克尔·法拉第（Michael Faraday）、詹姆斯·克拉克·麦克斯韦（James Clerk Maxwell）以及其他科学家掌握了第二种强大的力量——电磁力，宣告了又一次伟大革命的到来。当托马斯·爱迪生在曼哈顿下城的珍珠街发电站中修建发电机并为世界上第一条街道供电时，他为整个人类开启了电气化之门。今天，当整个世界被照亮时，我们可以在晚上从外层太空目睹地球的美景了。外星人如果从太空注视地球，他们会立刻意识到，地球人已经掌握电磁力了。每当突然停电时，我们深深地领会到我们对电磁力有多么依赖。停电时，我们似乎一下子又回到了100年前的过去，没有信用卡、计算机、灯光、电梯、电视、收音机、互联网、汽车等等。

最后两种力——核力（强核力、弱核力）也被欧洲科学家掌握了，正在改变着我们周围的一切。我们不仅能够解开天空之谜，揭示恒星闪耀的能源，而且还可以在医学中利用这些知识借助磁共振成像（MRI）扫描、造影扫描（CAT）、正子断层扫描（PET）、放射疗法、核医学等解开我们身体内部的奥秘。由于核力控制着原子中储存的巨大能量，因此，核力可以最终决定人类的命运，要么人类在掌握了聚变的无限能量后继续繁衍生息，要么在核地狱中消亡。



技术发展的四个阶段

社会状况的改变以及四种力的掌握，共同把欧洲推向世界的前列。技术是动力，时刻在变化着，从诞生、进化、兴盛到衰落。要想看看特定的技术如何改变不久的未来，有必要看看技术是如何遵循进化规律的。

大规模应用技术的进化一般分为四个阶段。我们可以从纸、自来水、电力和计算机等发展过程中理解这几个阶段。在第一阶段，技术产品非常珍贵，受到严密的保护。几千年前，古埃及人发明的莎草纸和中国人发明的纸非常珍贵，一卷莎草纸就需要十几个牧师进行严密保护。这种低劣的技术推动古代文明不断地进化。

纸进入第二阶段大约是在1450年，当时古登堡（Gutenberg）发明了活字版印刷。“私人书籍”（personal book）应运而生，于是，一个人能够拥有一本包含着数百卷知识的书。在古登堡之前，整个欧洲只有3万本书。到了1500年，欧洲有900万本书，激起了强烈的求知欲望，也引发了文艺复兴运动。

大约在1930年，纸进入第三阶段，当时纸的价格降到每张一分钱。于是，出现了私人图书馆，一个人可以拥有数百本书。纸成为了普通商品，按吨出售。纸无处不在而又无处可寻，看不见而又随处可见。接下来我们进入第四阶段，纸成了一种时尚的用品。我们用各种颜色、形状和规格的纸装饰我们的生活。纸也成了城市垃圾的最大来源。因此，纸的进化过程是从受到严密保护的商品变成了垃圾。

自来水也经过同样的四个阶段。第一阶段，在古代，水很珍贵，整个村子的人只有一口水井。这种现象持续了数千年，直到20世纪，逐渐引入供个人使用的水管和自来水，因此进入第二阶段。在第二次世界大战之后，自来水进入第三阶段，价格低廉，不断壮大的中产阶层都可以用上自来水。如今，自来水处于第四阶段，成为一种时尚用品，呈现出许多形式、规模和用途。我们用水制作喷泉和用水景装饰我们的生活。

电也经过了相同的四个阶段。第一阶段，在托马斯·爱迪生等科学家

完成开创性的研究时，一座工厂只有一盏灯泡和一台电动机。第一次世界大战之后，进入第二阶段，出现了供个人使用的灯泡和电动机。如今，电似乎消失了，无处不在而又无处可寻。甚至，“电”（*electricity*）这个单词也从英语词汇中消失了。过圣诞节时，我们用数百盏闪闪发光的灯装饰我们的家。我们认为，电隐藏在墙里，无处不在了。电是时尚用品，点亮百老汇，装饰我们的世界。

第四阶段，电和自来水成了实用品。它们的价格非常低廉，我们消费得很多，我们用电表和水表测量进入家中的电量和水量。

计算机遵循相同的发展模式。认识到这一点的公司迅速发展壮大，而没有认识到这一点的公司却濒临破产。IBM公司在20世纪50年代以大型计算机主宰着计算机发展的第一阶段。一台大型计算机是如此珍贵，以至于100位科学家和工程师共用一台。然而，IBM公司的管理层没有认识到摩尔定律的重要性，所以，在进入第二阶段后，当个人电脑在20世纪80年代问世时，这个公司差点破产。

可是，个人电脑制造商洋洋自得，他们想象着每个办公桌上堆放着一台独立操作的计算机，对计算机第四阶段的到来感到猝不及防，即个人可以与数百台计算机相互作用的互联网计算机出现了。如今，我们只能在博物馆里看到独立操作的计算机了。

因此，未来的计算机最终会进入第四阶段，即计算机消失了，然后又作为时尚用品重新流行起来。我们将用计算机装饰我们的生活。“计算机”（*computer*）这一单词将逐渐从英语词汇中消失。将来，构成城市垃圾的最大成分将不是纸张，而是芯片。未来的计算机会消失，变成日用品，像电和水一样销售。随着“云”计算的出现，计算机芯片将逐渐消失。

计算机的发展不是秘密；它延续着前任的老路子，像电、纸和自来水一样。

但是，计算机和互联网仍在发展。曾有人问经济学家约翰·斯蒂尔·戈登（John Steele Gordon），这种进化是否已结束。他回答说：“天哪，没有。计算机的进化还需要100年才能完成，正如蒸汽机的进化一样。我们现在所处的互联网时代就像1850年蒸汽机的铁路时代一样。只是刚刚开始。”

我们应该指出，并非所有的技术都进入了第三和第四阶段。比如说机车。19世纪初期，蒸汽驱动机车的问世标志着机械化运输进入了第一阶段。100个人可以享有一台机车。20世纪初期出现的被称为汽车的“私人机车”表示我们进入了第二阶段。但是，在过去数十年里，机车和汽车（主要是指在轨道或轮子上运行的车厢）尚未发生太大的变化，发生变化的是改进品，比如更加强大和有效的发动机和智能化。因此，不能进入第三和第四阶段的技术将会被美化；比如，装上芯片的技术就智能化

了。有些技术一直朝着第四阶段发展，如像电、计算机、纸和自来水，但是，它们依靠芯片和提高效率等渐进性改进才能继续发展。



为什么会出现泡沫和危机？

如今，随着2008年经济大萧条的到来，有些人发出呼声，认为所有这种进步都是泡影，我们必须恢复到简单的日子，社会体系本身有根本缺陷。

站在历史的长远的角度来看，明显指向出乎意料的巨大泡沫和危机，这完全是无中生有的。它们看起来是随机的，是反复无常的命运和人类的愚昧无知的副产品。有关2008年的金融危机，历史学家和经济学家撰写大量文章，试图通过分析金融危机的根源，如人的本性、贪婪、腐败、缺少监管、监管不力等等，对其进行剖析。

然而，我对这场金融危机有不同的看法，我采用科学的视角。从长远来看，科学是繁荣的动力。比如，《牛津经济史百科全书》（*The Oxford Encyclopedia of Economic History*）中援引了这样的研究：“1780年之后，英国和美国收入增长的百分之九十归因于技术革新，而不是纯粹的资本积累。”

如果没有科学，我们将会被扔回一千年之前的昏暗时代。但是，科学不是均衡的，而是波浪式的。一个重大突破（如蒸汽机、灯泡、晶体管等）常常引发一连串的二次发明，继而产生大量的创新和进步。由于这些浪潮可以产生巨大的财富，因此它们应该反映在经济中。

第一波大浪潮是最终促成机车问世的蒸汽动力。蒸汽动力引发了“工业革命”，使社会发生了翻天覆地的变化。蒸汽动力创造了巨大财富。但在资本主义制度下，财富是永不停滞的。财富会有去的地方。资本家无休止地寻找着下一次突变，并将把财富投资到更具投机性的计划中，不过其结果有时是灾难性的。

19世纪初期，蒸汽动力和工业革命创造的过量财富的多数被投入到伦敦股票交易所的机车股票中。实际上，当众多机车公司出现在伦敦股票交易所时，泡沫就开始形成了。《纽约时报》的商业作家弗吉尼亚·帕斯楚（Virginia Postrel）写道：“一个世纪前，铁路公司的股票占纽约股票交易所上市公司股票的一半。”由于机车仍处于起步阶段，这种泡沫是无法持续的，最终会破灭，导致了1850年经济崩溃，这是资本主义历史

上重大经济萧条之一。之后，几乎每隔十年就发生一次小规模的经济下滑，这些都是工业革命创造的过量财富所致。

颇有讽刺意味的是：铁路的鼎盛时期是在19世纪80和90年代。因此，导致1850年经济崩溃的原因是投机热和科技创造的财富，在世界范围内铺设铁轨的真正工作需要几十年才能发展成熟。

托马斯·弗里德曼（Thomas　Friedman）写道：“在19世纪，美国铁路事业经历了蓬勃发展、泡沫和破灭……但是，即使当泡沫破灭时，在美国留下的铁路基础设施也使得州际旅行非常容易和廉价。”

不是资本家吸取了这次教训，而是这种循环在不久之后又开始重复了。爱迪生和福特引领的，以电气革命和汽车革命为主的第二次技术浪潮开始传播。工厂和家庭的电气化以及T型小汽车的迅速发展，又一次创造了巨大财富。像过去一样，过量的财富必须投资到某个领域。在这种情况下，过量财富以实用品泡沫和汽车股票的形式进入到美国股票交易所。由于1850年经济崩溃发生在80年前灰暗的过去，人们忘记了其中的教训。从1900年到1925年，汽车创业公司的数量达到了3000家，市场难以承受。再一次，这回的泡沫还是无法持续。因为这样和那样的原因，泡沫终于在1929年破裂，出现了“经济大萧条”。

具有讽刺意味的是，美国和欧洲的铁路铺设和电气化是在经济大萧条之后的20世纪50和60年代才开始的。

最近，我们迎来了第三次科技浪潮，即高科技，如计算机、激光、太空卫星、互联网和电子技术。高科技创造的惊人财富也必须被投资到某个领域。在这种情况下，这些财富被投资到房地产中，形成了巨大的经济泡沫。随着房地产价值暴涨到极限，人们开始以房产作抵押从银行贷款，用它们做存钱罐，进一步加速了泡沫的膨胀。肆无忌惮的银行家像泼水一样发放住房抵押贷款，也助长了泡沫的膨胀。人们再一次忘记了1850年和1929年，发生在160年前和80年前的金融危机的惨痛教训。最终，这个新泡沫无法持续，我们遭受了2008年的金融危机和大衰退。

托马斯·弗里德曼（Thomas　Friedman）写道：“21世纪初，我们看到了金融服务业的繁荣、泡沫及其破灭。但是，我担心，泡沫将遗留下一大堆决不应该建造的空荡荡的佛罗里达公寓大楼、富人也无法再买得起的破旧的私人飞机，以及无人理解的无效衍生合同。”

尽管在最近的金融危机之后出现了愚蠢之举，具有讽刺意味的是，全世界联网的网络化将在2008年金融危机之后开始。信息革命的鼎盛时期尚未到来。

又一个问题出现：第四次浪潮是什么？大家都不确定。也许是人工智能、纳米技术、电信和生物技术的结合体。与以前的周期一样，再过80年，这些技术又将创造源源不断的难以想象的巨大财富。大约到2090年，但愿人们不要再次忘记80年前的教训。



赢家与输家：工作

随着技术的发展，经济将发生突变，继而引起社会混乱。每一次革命中都有赢家与输家。到了本世纪中叶，这种现象将更加明显。村子里将不再有铁匠铺和马车作坊。而且，我们将不再怀念这些工作的流逝。但是，问题是：到了本世纪中叶，我们将做什么工作呢？技术发展会改变我们的工作方式吗？

我们问一个简单的问题就能基本上确定其答案：机器人具有哪些局限性？如我们所看到的，人工智能面临着至少两个根本的障碍：模式识别和常识。因此，将来能够继续留下的工作主要是机器人不能完成的工作，即需要上述两种能力的工作。

在蓝领工人中，输家将是纯粹从事重复性任务的人（如生产线上的汽车工人），因为机器人最擅长这项工作。计算机给我们的幻觉是它们拥有智慧，但是，那仅仅因为计算机比我们人类能更快地计算数百万次。我们忘记了，计算机只是先进的加法器而已，它们最擅长的工作就是重复性的工作。因此，汽车装配线工人将首当其冲经受计算机革命之苦。这意味着，那些可以被简化成一套脚本和重复性动作的工厂的工作最终将会消失。

令人惊讶的是，许多中级蓝领工作将在计算机革命中幸存下来，并将发展壮大。赢家将是具备模式识别能力的从事非重复性工作的人。在未来，垃圾清理工、警官、建筑工人、园丁和水管工等都将有工作可做。为了收集各个家庭和公寓楼里的垃圾，清洁工必须能够识别垃圾袋，把垃圾袋放入卡车，运送到垃圾场。但是，每块垃圾需要用不同的处理方法。对建筑工人而言，每种作业都需要不同的工具、蓝图和施工说明。没有两个完全一样的建筑工地或作业任务。警官必须具体案情具体分析，而且还必须了解罪犯的作案动机和手段，计算机是做不到这一点的。同样地，每个花园和水管分布都是不同的，要求园丁和水管工具备不同的技能和工具。

在白领工人中，输家将是那些从事盘点存货和“数豆子”等中间人工作的掮客，即低级别的代理人、经纪人、出纳员、会计等将随着他们工

作的消失而大量失业。他们所从事的工作被称为“资本主义的摩擦力”（the friction of capitalism）。我们现在可以在网上买到最好价格的机票，无须经过旅行代理人。

比如，美林证券公司曾公开表示，他们永远不会实行网上股票交易。该公司始终采用老式方法从事股票交易。美林公司首席经纪人约翰·斯蒂芬斯（Merrill Lynch）说：“以互联网交易为主的自己动手投资的模式应被视为对美国金融生活的严重威胁。”因此，当1999年在市场力量的重压下不得不采用网上股票交易时，该公司丢尽了脸面。至顶网（ZDNet）新闻的查尔斯·加斯帕里诺（Charles Gasparino）写道：“这在历史上是罕见的，一个行业的佼佼者迫于压力不得不改变初衷，最终在一夜间采用一种新型的商业模式。”

这也意味着企业金字塔将被变薄。因为处于金字塔顶部的人可以与其销售队伍和销售代表进行直接联系，所以不再需要中间人执行顶部的指令。实际上，当个人电脑进入办公室时，这样的工作就减少了。

那么，中间人将如何生存？他们必须赋予其工作附加值，提供机器人还不能提供的一种商品：常识。

比如，在将来，你将能够通过手表或隐形眼镜在网上购买一套房子。不过，没有人会用这种方式买房子，因为这将是你一生中最重要的金融交易之一。在购置像房子这样的大件时，你会和一个人谈一谈，让他告诉你附近的好学校有哪些，犯罪率较低的地方是哪儿，下水道系统如何运行等等。对于这些大件，你会和一位熟练的代理人谈一谈，他会提供所购商品的附加值。

同样的道理，低级别的股票经纪人因网上交易而大量失业，但是，那些能够提供合理的、明智的投资建议的股票经纪人将始终是需要的。如果经纪人不能提供具有附加值的服务，如顶级市场分析员和经济学家的才智以及经验丰富的经纪人的内幕消息等，那么，他们的工作将终结。当网上股票交易毫无慈悲地降低了股票交易的成本时，股票经纪人要想生存，则必须推销自己无形的品质，如丰富的经验、扎实的知识和准确的分析。

因此，在白领工人中，赢家将是那些能够提供有用的常识的人。这意味着他们必须具有“让我们成为人”（make us human）的创造性品质——艺术品、表演、讲笑话、写软件、领导力、分析、科学、创造等。

从事艺术工作的人将有工作可做，因为互联网对创造性艺术具有贪得无厌的欲望。计算机擅长复制艺术品并帮助艺术家润色他们的作品，但是，计算机在创造新艺术形式方面无能为力。那些能够激发、煽动、唤醒情感而且能够让我们感动的艺术品是计算机所不能做到的。因为所有这些特性需要具备常识。

小说家、编剧和剧作家将有工作可做，因为他们传达的是真实的生

活，人与人之间的冲突，人的胜利和失败；而计算机无法模拟人的本性，因为这需要理解人的动机和意图。计算机不能确定人类为何哭泣或大笑，因为计算机本身不能哭或笑，也不能理解何为有趣或悲伤。

从事人际关系的人将有工作可做，如律师。

尽管机器人律师能够回答法律方面的基本问题，但是，法律本身随着社会标准和民众道德的变化而不断变化着。如果计算机有缺陷，那么对法律的解释最终会归结于价值判断。如果法律有事先准备好的明确解释，那么，法庭、法官和陪审团等就不需要了。机器人不能取代陪审团，因为陪审团常常代表着某特定群体的随着时间不断变化的道德观念。当最高法院的法官波特·斯图瓦特（Potter Stewart）界定色情文学时，这一点是最明显的。他没有做到这一点，却断定地说："当我看到时，我就能判断。"

此外，机器人取代法律裁决也许是不合法的，因为我们的法律遵守一项基本原则，即陪审团应该由我们的同类组成。机器人不是我们的同类，所以，机器人代替法律裁决是不合法的。

从表面上看，法律似乎很严谨，定义明确，具有准确而严密的措词以及神秘而堂皇的标题和定义。但是，这只是表面现象，因为对这些定义的解释在不断变化着。比如，《美国宪法》似乎是一个定义明确的文件，但是，最高法院经常把有争议的问题拦腰劈开，并始终对《宪法》中的每一个词语进行重新解释。我们只要翻开历史看看，就能很容易地看到人类价值观不断变化的本质。比如，美国最高法院于1875年规定，奴隶永远不能成为美国的公民。从某种意义上说，需要一场内战和无数人的死亡才能推翻这一决定。

在将来，领导才能也将会是一种有价值的商品。在某种程度上，领导才能包括对现有信息、观点和意见等准确判断，然后选择最适用的一个，符合特定目标的要求。由于领导者要为具有其自身优势和弱点的人类工人予以鼓励和指导，因此，领导才能变得特别复杂。所有这些因素要求领导者具有准确理解人类本性、市场力量等才能，这是任何计算机不能做到的。



未来的娱乐业

这也意味着包括娱乐业在内的所有行业正在经历巨大变化。比如，

自古以来，音乐产业的基础是在不同城镇间穿梭的个体音乐人，展现个人形象。演艺圈人士不停地到处奔走，今天在这个村子表演，明天又转向另一个村子。他们生活艰辛，报酬又少。托马斯·爱迪生发明留声机后，这种古老的演艺形式发生了突变，也永远地改变了我们听音乐的方式。突然之间，歌手发行唱片，卖了数百万张，获得的收入在以前是难以想象的。仅仅一代摇滚歌手就成了社会的暴发户。上一代可能还是卑贱的服务生的摇滚歌星，突然间成了年轻人崇拜的偶像。

但是，很遗憾，音乐界忽视了科学家的预言，即总有一天音乐将会通过互联网很容易地传播，就像电子邮件一样。音乐界没有为如何通过网上销售的方式赚钱做好充分准备，而是试图起诉那些以CD价格出售音乐的暴富公司。这就像是在做根本做不到的事情。这种忽视也造成音乐界目前的混乱局面。

（不过，往好的一点是不出名的歌手现在可以一夜走红，无须受到大型音乐公司的审查。在过去，音乐界巨头几乎可以决定谁将成为下一个摇滚明星。因此，在将来，人们将通过包括市场力量和技术在内的自由竞赛形式更民主地选择顶级音乐人，而不是由音乐商业高管们来决定。）

报纸也面临同样的困境。从传统上来说，报纸从广告版面，特别是分类广告版面，获取源源不断的收入。报纸的收入来源不是主要依靠报纸本身的销量，而是依靠广告版面。但是现在，我们可以免费下载当天的新闻，也可以在各种网上招聘栏目中发布全国性招聘广告。因此，全国各类报纸的规模正在压缩，发行量也在减少。

但是，这个过程仅持续到目前为止。互联网上噪音太多，有自封的预言家每天向读者进行高谈阔论，有自大狂者在设法宣扬荒诞的观点，最终人们将珍视一种新商品：智慧。任意性事实与智慧没有任何关联，将来，人们会对疯狂的博客作者的夸夸其谈感到厌倦，一定会去寻找提供智慧这种罕见商品的受人尊敬的网站。

正如经济学家哈米什·麦克雷（Hamish McRae）曾经说的：“实际上，大量的这种‘信息’都是垃圾，与垃圾邮件有着相同的智力。”但是，他声称，“正确的判断力将继续受到人们的重视：作为这一群体，成功的金融分析师是世界上薪水最高的研究人员。”



电影《黑客帝国》

好莱坞的演员们将会怎么样呢？如果不能成为有票房收入的名人和社会谈论的焦点，那么这些演员会加入失业大军的队伍吗？最近，计算机模拟人体的动画制作领域有了显著的进展，动画片形象几乎接近真人。现在的动画人物具有3D容貌和阴影。因此，演员在不久的某个时候将会被淘汰吗？

也许不会。计算机模拟人脸存在着根本的问题。人类进化时具备了一种神奇的能力，即人脸互不相同，因为我们人类以此生存。瞬息间，我们必须认清某人是敌人还是朋友。我们必须在短短的几秒钟内迅速确定一个人的年龄、性别、力量和情感。不能做到这一点的人将不能生存，也不能把他们的基因传给下一代。因此，人的大脑把强大的处理能力用于识别人的脸。事实上，在人类进化史上大多数时间里，在我们学会说话之前，我们用手势和肢体语言进行交流，我们的脑力主要用于看着微妙的脸部特征。但是，计算机很难识别周围的简单物体，也就更难塑造一张真正的活生生的人脸。小孩在银幕上看到一张脸时也能立刻知道那是一个真人还是计算机模拟的人。（这又回到了"洞穴人原理"问题上。假如让我们在一部由我们最喜爱的演员参演的实景拍摄的轰动一时的动作电影与一部由电脑动画制作的动画动作片之间做出选择的话，我们仍将选择前者。）

相比之下，我们的身体更容易被计算机模拟。当好莱坞在影片中创造那些逼真的怪兽和虚幻的人物时，他们采用了剪辑手段。演员穿的紧身衣的关节处装有传感器。在演员移动或跳跃时，传感器给计算机发出信号，然后计算机制作出栩栩如生的人物，执行精确的表演，就如同电影《阿凡达》中的效果一样。

我曾经在由设计核武器的利弗莫尔国家实验室召开的一次会议上发言，晚宴时我正好坐在电影《黑客帝国》（*The Matrix*）一位工作人的旁边。他承认，他们必须花费大量的计算机时间制作影片中令人眼花缭乱的特技效果。他说，其中一个难度最大的场景要求他们完全重建一座虚构的城市，上空还有一架直升机在盘旋。他说，他们花费了大量的计算机时间才制作成整个虚构的城市。但是，他承认，他不能模拟一张人的真脸。这是因为，当灯光照射在人脸时，灯光根据脸部的纹理向四处散射。计算机必须跟踪每个光粒子。因此，必须用复杂的数学函数描述人脸上的每点皮肤，这是计算机程序员最头疼的事情。

我感到，听起来这似乎像是我的专业，高能物理学。在我们的原子击破器中，我们制造强大的质子束，并把它投射到目标上，产生一阵四处散射的碎片。然后，我们用数学函数（称为波形因数）描述每个粒子。

我半开玩笑地问，人脸与高能粒子物理学之间是否存在某种关系？他回答，是的。计算机动画制作者采用高能物理学中使用的数学形式描述手段来制作我们在银幕上看到的人物脸部！我绝对没有想到，我们理论物理学家使用的晦涩难解的公式有一天可以解决模拟人脸的难题。因

此，我们可以识别人脸的事实类似于我们物理学家分析亚原子粒子的方式！

远期（2070—2100）



对资本主义的影响

我们在这本书中已经讨论的这些新技术如此强大，到本世纪结束时，它们必然要影响资本主义本身。供求关系的法则相同，但科学和技术的兴起已经在许多方面修改了亚当·斯密（Adam Smith）的资本主义，包括从商品分配给财富性质本身的方式上。影响资本主义的一些更直接的方式表述如下：

- 完善的资本主义

亚当·斯密的资本主义是基于供给和需求关系的法则：当商品的供给与需求相匹配时，制定价格。如果一件物品处于稀缺和需求状态，那么其价格上涨。但消费者和生产者都只是片面地、不完全了解供给和需求关系，因此价格随着地域的差异而相差很大。因此，亚当·斯密的资本主义是不完善的。但是，这在未来将逐步改善。

当生产者和消费者对市场具有无限的知识时，“完善的资本主义”（Perfect capitalism）产生，因此，价格是完全能够确定的。例如，在未来，消费者将通过他们的隐形眼镜浏览互联网，并对所有比较的商品的价格和性能拥有无穷的知识。目前人们已经可以浏览互联网寻找到最优惠的航空票价。这最终将适用于在世界上销售的所有产品。无论是通过眼镜、墙幕或者手机，消费者将知道有关产品的一切。例如，经过一家杂货店，你将浏览到显示的各种产品，并通过互联网，用你的隐形眼镜，立即评估该产品的价格是否便宜。如此一来，优势转移到消费者，因为他们会立即知道有关产品的一切，它的发展过程，它的性能记录，相对其他产品它的价格，以及它的优缺点。

生产者同样也有锦囊妙计，如使用数据挖掘技术去理解消费者的需求和欲望，并在互联网上浏览商品价格，这将消除在制定价格方面的很多猜测。但在大多数情况下，还是那些即刻对任何产品进行比较了解，并要求最便宜价格的消费者具有优势。生产者必须对消费者不断变化的需

求做出反应。

- 大规模生产到大规模定制

在现行制度下，商品是通过大批量生产制造的。亨利·福特曾经说过一句名言：消费者可以拥有任何颜色的T型汽车，只要它是黑色的。大批量生产，大幅度降低价格，取代效率低下、古老的行会和手工艺品的体制。计算机革命将会改变这一切。

今天，如果一位顾客看到一件完美风格和色彩的礼服，但尺寸不对，那么就没有销售量。但在将来，我们精确的三维测量尺寸将被储存到我们的信用卡上或钱包里。如果一件衣服或其他服装的尺寸不对，你通过电子邮件将尺寸发送到工厂，并立即生产一件大小合适的。在未来，一切事物都将相称。

大规模定制在今天是不切实际的，因为只为一名消费者创建一个新产品，费用太昂贵。但是当每个人，包括工厂，都迷上互联网，定制对象的生产就可以与大规模生产的物品享有同等价格。

- 群集技术成为一种实用工具

当诸如电力和自来水技术广泛分布时，它们最终会成为实用工具。随着资本主义压低价格和竞争日益激烈，这些技术如同实用工具一般将被出售，也就是说，我们不关心它们来自哪里，我们只支付我们需要的东西。这同样适用于计算。在很大程度上依赖互联网进行大多数计算功能的“云计算”（Cloud computing），将逐步得到普及。云计算把计算简化成一种实用工具，我们仅支付我们需要的东西，我们不需要的东西则不予考虑。

这与今天的情况截然不同，我们大多数人打字、处理文字或者在台式机、笔记本电脑上绘图，然后当我们想搜索信息时，连接到互联网。在未来的日子里，我们甚至可以逐步地完全淘汰计算机，直接在互联网上访问所有的信息，然后按所花的时间支付费用。因此，计算也会像水和电一样的计费。我们将生活在一个我们的家电、家具、衣服等都已智能化的世界里，当我们需要特定的服务，我们将与它们交谈。互联网屏幕隐藏在各个角落里，每当我们有需要时，键盘就显现。功能已经取代形式，因此，具有讽刺意味的是，计算机革命将最终使计算机消失在云端。

- 瞄准你的客户

从历史角度看，公司在报纸、广播、电视等上投放广告，通常对这些广告产生的影响没有丝毫的概念。他们只有通过销量的上涨来计算广告活动的成效。但在将来，公司几乎将立即知道有多少人下载或者查看自己的产品。例如，如果你在一个互联网广播网站上接受采访，准确地判断已经有多少人收听，这是可能做到的。这将使公司依照量身定制的规格锁定听众。

〔然而，这引发了另一个问题：有关隐私的敏感问题，这将是未来很大的争议之一。过去，还有人担心，计算机有可能使“老大哥”（指独裁者）成为可能。在乔治·奥威尔（George Orwell）的小说《1984年》中，极权主义政权掌管地球，释放出一个炼狱般的未来，其中的间谍比比皆是，一切自由受到压制，生活就是一系列永无休止的屈辱。有一点要讲，互联网有可能演变成这样一个无孔不入的间谍机器。然而，1989年苏联集团解体之后，美国国家科学基金会事实上将互联网开放了，它从一个主要的军事设备转换成一个网络大学，甚至是商业实体，最终导致20世纪90年代的互联网爆炸。如今，“老大哥”是不可能了。真正的问题是“小兄弟”，即多管闲事的好事者、小罪犯、通俗小报甚至公司，使用数据挖掘技术找出我们的个人喜好。正如我们将在第8章中讨论，这是一个不会消失而会随着时间的推移而升级的问题。更可能的是，这将是一个永恒的猫捉老鼠的游戏，软件开发人员创建程序保护我们的隐私，但其他人员开发程序将其中断。〕



从商品资本主义到知识资本主义

到目前为止，我们仅仅询问科技是如何改变资本主义的运作方式。但是高科技的进步造成的所有混乱，对资本主义的性质本身产生什么样的影响？这场革命造成的所有混乱可以归纳为一个概念：商品资本主义（commodity capitalism）向知识资本主义（intellectual capitalism）的过渡。

亚当·斯密（Adam Smith）时代的财富用商品衡量。商品价格起伏不定，但平均来说，过去的150多年里，商品价格一直在稳步下降。今天，你吃的早饭在100年之前英国国王是根本不可能享用的。来自世界

各地的具有异国情调的美味佳肴现在经常在超市出售。商品价格的下降是由各种各样的因素造成，例如更佳的大规模生产、集装箱运输、航运、通讯和竞争。

〔举例来说，今天的高中学生很难理解哥伦布为什么冒着生命危险寻找一个较短的贸易路线前往有香料的东方，他们问到，他为什么不干脆去超市，并得到一些牛至（oregano，一种香料）？但在哥伦布的时代，香料和草药极其昂贵，它们珍贵是因为它们能够掩盖腐烂食物的味道，因为那时没有冰箱。有时，甚至连帝王用餐时都不得不吃腐烂的食物，那时没有冷藏车、集装箱或船舶进行远涉重洋的香料运输。〕这就是为什么这些商品如此宝贵，哥伦布以其一生为赌注想要得到它们，尽管今天它们非常便宜。

正在取代商品资本主义的是知识资本主义。知识资本恰恰包括机器人和人工智能还不能提供的模式识别和常识。

正如麻省理工学院经济学家莱斯特·瑟罗（Lester Thurow）所说："今天，知识和技能作为比较优势的唯一来源，现在独树一帜……硅谷和128号公路之所以存在，正是因为那儿是人才汇集的地方。他们除了选择去那儿别无他寻。"

这样历史性的转变为什么正在动摇资本主义的根基？这很简单，我们不能批量生产人的大脑。虽然硬件可以大规模生产并以吨计出售，人类的大脑则不能，这意味着常识将是未来的货币。与商品不同，为创造知识产权资本，你必须熏陶、培养、教育一个人，这需要几十年的个人努力。

正如瑟罗所言："其他一切事物从竞争方程当中退出，知识已成为长期可持续竞争优势的唯一来源。"

例如，相比硬件，软件将变得越来越重要。随着芯片价格继续大幅下挫，电脑芯片将被整车出售。但软件的创建必须使用传统的方法，由人类静静地坐在椅子上，用铅笔和纸工作。例如，在你的笔记本电脑中存储的文件可能包含有价值的计划、手稿和数据，这些文件可能价值几十万美元，但笔记本电脑本身的价值只有几百美元。当然，能够很轻易地复制和大规模生产软件，但不能创建新的软件。这需要人类的思想。

据英国经济学家哈米什·麦克雷（Hamish McRae）："1991年英国成为世界上第一个无形输出（服务）比有形输出（实物）赚取更多的国家。"

虽然在过去几十年中，源自制造业的美国经济份额大幅下降，但涉及知识资本主义的行业（好莱坞电影、音乐产业、视频游戏和电信等等）已经飙升。这种从商品资本主义转向知识资本主义是一个渐进的过程，它始于上个世纪，但它每十年加快发展一次。麻省理工学院经济学家瑟罗写道："在对一般性的通货膨胀进行矫正后，从20世纪70年代中

期到20世纪90年代中期，自然资源价格已下降近60%。”

一些国家明白这一点。想一想日本在战后的教训。日本没有巨大的自然资源，但其经济位居世界前列。今天日本的财富是其人民勤劳和团结的实际证明，而非脚下肆意挥霍的财富。

不幸的是，许多国家并没有领会这一基本事实，不为本国公民的将来做准备，而主要依靠商品。这意味着，拥有丰富的自然资源却不明白这个道理的国家在将来可能陷入贫困。



数字鸿沟？

有些人谴责信息革命，他们说“数字富人”和“数字穷人”之间的鸿沟在逐渐扩大，换句话说，那些具有访问计算机能力的人群与那些没有访问计算机能力的人群之间的差距。他们声称，这场革命将拓宽社会断层线，开辟新的财富差距和不平等现象，这足以撕裂社会结构。

但是，这是真实问题的一个缩小画面。随着计算机能力每隔18个月翻一番，甚至贫困儿童也正变得越来越有机会接触计算机。同侪压力（peer pressure）和低廉的价格已经激励贫困儿童使用计算机和互联网。在一项实验中，我们提供资金为每个教室购买一台笔记本电脑。尽管出于善意，但大家还是认为该计划是失败的。首先，笔记本电脑通常放置在一个角落里未曾使用，因为老师往往不知道如何使用它。第二，大部分学生已经与他们的朋友取得在线联系，而完全忽视了教室里配置的笔记本电脑。

问题不在于使用途径。真正的问题在于就业。就业市场正在经历一场历史性的变革，那些利用这一优势的国家将在未来蓬勃发展。

对于广大发展中国家而言，一种策略是使用商品建立良好的基础，然后使用该基础作为敲门砖，完成向知识资本主义的过渡。例如，中国已经成功地采取两步走战略：中国正在建设数以千计的工厂，为世界市场生产商品，但他们正在利用利润建立一个以知识资本主义为基础的服务行业。在美国，50%的物理学博士生出生在国外（主要是因为美国自身不能培养出足够合格的学生）。这些外国出生的博士学生，大部分来自中国和印度。有些学生已经返回自己的祖国，创造全新的产业。



初级工作

这种过渡的牺牲品之一将是初级级别的工作。每个世纪都推出新技术，给经济和人民生活方面带来痛苦的混乱。例如，1850年，美国65%的劳动力在农场工作。（今天，只有2.4%的人从事农场工作。）这一点在本世纪仍将如此。

在19世纪，新的移民浪潮涌入美国，因其经济迅速增长，足以容纳他们。例如，在纽约，移民可以在服装行业或轻工制造业找到工作。不考虑受教育程度，任何一个愿意从事一天诚实劳动的工人都能在不断扩大的经济中找到事做。这就好像一个传送带，把来自欧洲贫民区和贫民窟的移民推向美国欣欣向荣的中产阶级中去。

经济学家詹姆斯·格兰特（James Grant）已经说过："从农田到工厂、办公室和教室的体力与智力的长期迁移都是生产率的增长……技术进步成为现代经济的堡垒。过去200年的历史再一次证明它是千真万确的。"

如今，许多这些初级职位已经一去不复返了。此外，经济的性质已经发生变化。为寻求更廉价劳动力的企业已经把许多初级职位的工作送到海外。工厂里的传统制造业工作很早就消失殆尽。

但这其中却具有很多讽刺意味。多年来，许多人要求一个公平的竞争环境，既不偏袒也不歧视。但倘若按一下按钮后职位能够出口，那么公平竞争的环境现在拓展到中国和印度。因此作为推向中产阶级传送带的初级职位现在可以被输出到其他地方。这一点对海外工人有好处，因为他们可以从公平的竞争环境中受益，但可能会引起美国很多城市的内城区被镂空。

消费者同样从中得到好处。如果存在全球竞争，产品和服务就变得更加便宜，生产和分销变得更加高效。如果只是艰难地维持过时的业务和薪水过高的工作，就会产生自满情绪，造成浪费和效率低下。补贴逐渐衰败的企业仅仅延长了必然结果的发生时间，延迟了企业倒闭的痛苦，实际上它让事情变得更糟。

还存在另外一种令人啼笑皆非的局面。许多高薪的技术型服务部门的工作由于缺乏合格的候选人而悬空。通常情况下，教育体系没有培养足够的技术工人，因此，企业必须应对一个低学历的劳动人口。企业苦

苦找寻教育体制往往不培养的技术工人。即使在经济不景气的情况下，同样存在缺乏技术工人的悬空职位。

但有一点很明确。在后工业经济中，许多历史悠久的工厂的蓝领工作永远地消失了。多年来，经济学家们天真地拥有“让美国再次工业化”的想法，直到他们意识到时间无法倒流。几十年前，美国和欧洲经历了从主要工业经济向服务经济的过渡，这种历史性的转变无法逆转。工业化的鼎盛时期已经永远地一去不复返了。

相反，必须做出努力重新调整和重新投资那些能最大限度地发挥知识资本主义的行业。这将是21世纪各国政府一项最困难的任务，没有快速简易的解决方案。一方面，这意味着教育体制的一次重大调整，从而使工人可以再次得到培训，也使高中学生毕业后不进入失业队伍。知识资本主义并不意味着针对软件程序员和科学家的工作，而是涉及广泛的活动，包括创造力、艺术能力、创新、领导和分析等等，即常识。劳动力必须接受教育，以迎接而不是逃避21世纪的挑战，而不是填鸭式的教育。特别是科学课程必须改革，教师要接受再培训，与未来的科技社会相关联。（很遗憾在美国有句古老的话：“有能力的，去干大事；没有能力的，去教书。”）

正如麻省理工学院经济学家莱斯特·瑟罗所说：“成败取决于一个国家是否正向未来人工智能产业的成功过渡，而不依赖于任何特定行业规模的大小。”

这意味着将造就一批能够从这些技术革新中创造新兴产业和新兴财富的创新型企业家。必须释放这些人的能量和活力。必须允许他们给市场注入新的领导才能。



赢家和输家：国家

不幸的是，许多国家没有走这条路，他们依然完全依靠商品资本主义。但是通常情况下，由于商品价格已经在过去150年下降，当世界回避他们时，其经济将随着时间的推移最终萎靡。

这个过程不是不可避免。看看德国和日本1945年的例子吧，当时他们的整体人口接近饥饿，他们的城市变成一片废墟，以及他们的政府已经崩溃。他们用一代人的时间，能够在世界经济中名列前茅。看看今天的中国吧，拥有8%至10%迅猛的速度增长，扭转500多年的经济衰退。

曾经广泛被嘲笑为“东亚病夫”，他们将耗用另一代人的时间，加入发达国家的行列。

令这三个社会与众不同的是，之前，每个民族具有凝聚力，拥有勤劳的公民，制造的产品世界争相购买。这些国家重视教育，重视国家和人民的统一，重视经济的发展。

正如英国经济学家和记者麦克雷（McRae）写道：“过去推动经济增长的发动机——土地、资本和自然资源——不再重要。土地也无关紧要，因为农业产量的上升已使人们有可能在工业时代生产出比其需求更多的食品。资金不再是问题，因为可以凭借较高的代价，从国际市场中无限获取用于创收项目的资金……这些从传统意义上说造就富国的量化资产，正在被一系列定性特征所取代，这可以归结为居住在那里的人们的生活质量、组织、动机和自律，要证实这一点，看看人类技能水平在制造业、私营部门服务业，以及公共部门中如何变得越来越重要就知道了。”

然而，并非每个国家都追随这条道路。一些国家拥有无能的领导人，文化和种族割裂到近乎崩溃的边缘，生产的商品都是世界其他地区不需要的。这些国家不投资教育，反而投资于庞大的军队和武器方面来恐吓他们的人民并维护他们的特权。他们不投资基础设施以加快该国工业化进程，反而大搞腐败并保持自己的权力，创造一个腐败政府，而不是精英管理的社会。

令人悲哀的是，这些腐败政府已经挥霍了国际社会包括西方国家提供的很多援助，包括小额援助。未来学家阿尔弗雷德（Alfred）和海蒂·托夫勒（Heidi Toffler）注意到，1950年和2000年之间，富国向贫国提供超过1万亿美元的援助。但是他们指出：“世界银行告知我们，近28亿人民——几乎占地球人口的一半——仍旧挣扎生活在每天相当于2美元或者更少的边缘，其中，约11亿人民生存在每天不足1美元的极端或绝对贫困当中。”

当然，发达国家能够做更多的实际事情减轻发展中国家的困境，而不是口头说说。但是在说过和做过之后，最终，发展的主要责任必须落在发展中国家自身的英明领导者身上。又回到那句老话：“给我一条鱼，我将吃一天。教我如何钓鱼，我将永远有鱼吃。”这意味着，不是简单地给发展中国家提供援助，重点应该放在教育上并帮助他们发展新兴产业，让他们能够自给自足。



利用科学

发展中国家或许能够利用信息革命的优势。原则上，他们可以在许多领域超越发达国家。在发达国家，电信公司必须不厌其烦地说服并付出巨大代价给每个家庭或农场架设电话线。但是一个发展中国家无须在全国布线，因为手机技术能够覆盖农村地区，不用为此修建任何道路或基础设施。

此外，发展中国家的优势在于他们不必改建一个已经老化的基础设施。例如，纽约和伦敦的地铁系统早超过一个世纪之久，急切需要维修。今天，这些摇摇欲坠的系统改造费用比建设原系统本身还要昂贵。发展中国家可以采用所有的最新技术修建一个熠熠生辉的地铁系统，并利用金属、施工工艺以及技术的巨大改进。全新的地铁系统可能会比一个世纪前的系统成本低得多。

例如，当中国新建造一座城市并令其拔地而起时，它能够从西方国家所犯过的错误中吸取教训。因此，北京和上海正在兴建，其费用是建设一个西方大城市的原始成本的一小部分。如今，为了应对城市人口爆炸，北京正在建设世界上最大的、最现代化的地铁系统之一，这受益于西方创建的所有计算机技术。

互联网是发展中国家采取快捷方式通向未来，以及绕过西方所犯错误的另一种方式，尤其是在科学领域。此前，在发展中世界的科学家不得不依赖于原始的邮政系统把论文寄送到科学期刊，期刊出版后，实际送达时间通常需要数月乃至一年的时间。这些期刊价格昂贵并且非常专业化，因此，只有大型的图书馆能够支付得起。与西方科学家的合作几乎是不可能的事情。你必须独立且富裕，或者非常雄心勃勃，才能在西方大学中获得一个职位，跟随著名科学家工作。现在可能的情况是，最不起眼的科学家在互联网上将科学论文发布到世界上几乎任何一个角落，时间不足两秒，而且免费。并且通过互联网，你可能和素未相识的西方科学家合作。



未来是一场争夺战

未来是完全开放的。正如我们前面提到，随着硅谷时代的流逝和火炬传递给下一个创新者，硅谷在未来几十年可能会成为下一个铁锈地带（指从前工业繁盛、今已衰落的发达国家一些地区）。哪些国家将引领未来呢？在冷战时期，超级大国是那些能够在世界范围内施展军事影响的国家。但是苏联的解体已明确表示，未来独占鳌头的国家将是那些构建自己经济体的国家，而这反过来又依赖于发展和促进科学和技术。

那么谁是明天的领袖？那就是真正掌握这一真理的国家。例如，美国一直保持其在科学和技术的优势，尽管事实上，当涉及到诸如自然学科和数学等基本科目时，美国学生的得分往往是垫底的。比方说，1991年的水平测试成绩显示，美国13岁的学生在数学方面排第15名，在自然学科方面第14名，略高于约旦学生，后者在这两门学科中均排名18。此后的每年考试都证实了这些令人沮丧的数字。（应该指出，这个排名大致与学生在校的天数相匹配，中国排名第一，平均每年接受251天的教育，而美国每年平均只有178天。）

尽管存在这些可怕的数字，在你意识到美国大部分科学研究是以“人才外流”的方式来自海外的事实之前，美国继续在科技领域保持领先，这看起来像是一件不可思议的事情。美国存在一个秘密武器，H1B签证，即所谓的天才签证。如果你能证明你拥有特殊的才能、资源或科学知识，你可以跳进这个行列，并获得一个H1B签证。这已不断充实我们科学的行列。例如，硅谷大约有50%的人在国外出生，许多来自中国台湾和印度。从全国范围看，50%的物理学博士都出生在国外。在我的大学，纽约城市大学，几乎100%的人是国外出生的。

一些国会议员试图取消H1B签证，因为他们声称这夺走了美国人的工作，但他们并不理解签证的真正作用。通常情况下，美国人不能胜任硅谷的最高级别的工作，其结果是，我们经常看到悬空的职位。这个事实显而易见，德国前总理格哈德·施罗德（Gerhard Schroeder）试图针对德国的入境法律通过类似的H1B签证，但这项措施被那些声称这会夺走土生土长德国人饭碗的人所击败。批评者又一次未能理解常常是没有德国人能来填补这些高层次的工作，职位依然悬空。这些H1B移民并没夺走工作，他们创造全新的产业。

但是，H1B签证仅是一个权宜之计。美国不可能继续依赖外国科学家，随着中国和印度经济的改善，其中的许多人开始回到他们的祖国。

因此，人才引进是不可持续下去的。这意味着，美国最终将彻底改革其陈旧的、僵化的教育体制。目前，准备不充分的高中学生涌入就业市场和大学，造成一个僵局。雇主不断哀叹这个事实，他们必须花费一年的时间培训新员工，培养他们加快发展。并且，大学背负责任，不得不开设新层次的辅导课程，以弥补落后的高中教育体制。

幸好，我们的大学和企业最终做了一件值得称道的事情，修复高中体制所造成的破坏，但这是一种时间和人才的浪费。为了保持美国未来的竞争优势，小学和中学体制必须发生根本性转变。

公平地说，美国仍然具有明显的优势。我曾经在纽约参加美国自然历史博物馆举办的鸡尾酒会，并会见了比利时的一位生物技术企业家。考虑到比利时有其自身蓬勃发展的生物技术产业，我问他为什么离开。他说，在欧洲通常你不会得到第二次机会。因为人们知道你及你家人的情况，如果你犯下一个错误，你就完蛋了。无论你身在何方，你的错误往往形影不离。他说道，但在美国你可以不断地重塑自我。人们不关心谁是你的祖先。他们只关心你现在、今天能为他们做些什么。他表示这里令人耳目一新，这是为什么其他欧洲科学家迁到美国的原因之一。



新加坡的教训

在西方，有这样一句话：“嘎吱作响的车轮获得润滑剂。”但在东方，还有另一句话：“枪打出头鸟。”这两种表达式截然相反、彼此对立，但它们却抓住了东西方思想的一些本质特征。

亚洲学生的考试成绩时常遥遥领先于西方的同龄学生。然而，大多数的学习属于书本知识和死记硬背，这只能将你带到一定的水平。要想达到科学和技术的更高层次，你需要创造力、想象力和创新，这在东方体制中并没有得到培养。

所以，在工厂廉价生产最先在西方国家制造的商品的复制品方面，中国可能最终赶上西方，但在设计新产品和新策略的创新过程中，它将落后于西方国家几十年。

我曾经在沙特阿拉伯的一次会议上发表讲话，另一位重要发言人是李光耀，1959年到1990年他就任新加坡总理。在某种意义上，他就是发展中国家中的一颗摇滚巨星，因为他协助建立的现代化国家新加坡，在科学领域跻身顶尖国家之列。事实上，如果你计算人均国内生产总值

（GDP），新加坡是世界上第五大最富有的国家。与会听众竭尽全力倾听这位传奇式人物的每一句话。

他回忆起战后初期的日子，当时新加坡作为一潭死水港口，主要以盗版、走私、醉酒水手和其他令人憎恶的活动而臭名昭著。然而，他的一群同僚梦想有一天，这个小小的海港能与西方相抗衡。虽然新加坡没有重要的自然资源，其最大的资源是自己的人民，他们勤劳并拥有半熟练的技术。他的团队踏上了令人瞩目的行程，计划在一代人之内引领这个沉睡的落后民族并将其转变成一个科学强国。或许这是历史上最引人注目的社会工程事例之一。

他和他的政党开始对整个民族进行系统而彻底的革新运动，强调科技和教育，并专注于高新科技产业。在短短的几十年内，新加坡培养了一大批高学历的技术人员，这使该国有可能成为全球的电子、化学和生物医疗设备的主要出口国之一。2006年，它生产了全球10%的计算机铸造晶片产量。

他承认，随着该国的现代化进程，已经出现了一些问题。为加强社会治安，他们实施严厉的法律，禁止一切不法行为，从大街上随地吐痰（处以鞭打）到毒品交易（处以死刑）。但他同时也注意到一件重要事情。他发现，一流科学家急切渴望参观新加坡，但只有少数人留下。后来，他发现了一个原因：新加坡不具有留住他们的文化设施和旅游景点。这让他有了下一个想法：有意培养一个现代化国家的所有边缘文化效益（如芭蕾舞团、交响乐团等等），让顶尖科学家将在新加坡扎根。几乎一夜之间，各种文化组织和活动，如雨后春笋般在全国各地涌现，作为吸引科学精英植根于此的诱饵。

接下来，他也意识到，新加坡的孩子盲目重复老师的话语，而不是挑战传统智慧，并开发创新思维。他意识到，如果它培养的科学家仅能照搬硬抄他人，东方将永远落后于西方。于是，他启动一项教育改革：具有创新思维的学生将被选拔出来，并根据自己的学习进度，追求梦想。当他意识到诸如比尔·盖茨或史蒂夫·乔布斯的人可能会被新加坡令人窒息的教育体制所镇压，他要求学校教师有组织地挖掘出那些拥有科学想象力并重振经济的未来天才。

新加坡的教训并不适合每一个国家。它属于一个小型的城市国家，其中的极少数高瞻远瞩者能够对国家建设实施掌控管理，也不是每个人都愿意因为在大街上随地吐痰而被鞭打。然而，它向你表明，如果你想有计划有步骤地跨越到信息革命的前列，你能做出哪些努力。



未来的挑战

我曾经在普林斯顿高等研究院度过了一段时光，并与弗里曼·戴森共进午餐。他开始缅怀有关他从事科学的漫长的职业生涯，然后提到一个令人不安的事实。战前，当他在英国还是一名年轻大学生时，他发现英国最聪明、最有才华的人都背弃像物理学和化学这样的自然学科，投向金融和银行业等利润丰厚的职业。当上一代正在通过电气工厂和化工厂创造财富，并发明新的机电设备时，下一代却正沉迷于摆弄和管理别人的金钱。他感叹道，这是大英帝国衰落的迹象。倘若英格兰有一个摇摇欲坠的科学基础，它就无法维持其作为世界大国的地位。

之后，他说了一件吸引我注意的事情。

他表示，这是他生命中第二次看到这件事。普林斯顿最聪明的头脑不再去解决物理学和数学当中的疑难问题，而是被银行投资等职业所吸引。同样，他认为，当一个社会的领导人不再支持促使他所在社会强大的发明和技术时，这种现象可能是衰落的信号。

这就是我们未来面临的挑战。

8．人类的未来　行星文明

现在的人生活在一片或许被视为人类历史上最非同寻常的三或四个世纪当中。

——朱利安·西蒙（Julian Simon）

哪里没有愿景，人们就将灭亡。

——谚语（Proverbs）29：18

神话中，众神生活在天国神圣的光彩之下，远远超越凡人的微不足道的事务。当为荣誉和永恒荣耀而战的挪威神将在含有倒下勇士精神的瓦尔哈拉（Valhalla）的神圣殿堂摆下盛宴时，希腊诸神却在奥林匹亚山神圣的天域嬉闹。但是，倘若我们的命运是到本世纪末获得神赐予的力量，2100年我们的文明看起来将是如何？涵盖我们文明的所有这些技术创新在哪里？

这里描述的所有技术革命正在指向一点：行星文明的建立。这也许是人类历史上最伟大的变革。事实上，生活在今天的人们是最有地位的，他们曾经在行星表面行走，因为他们将决定是否我们能达到这一目标或陷入混乱。自从大约10万年前我们首次在非洲出现以来，也许有5000世代的人类已经在地球表面行走，其中，那些生活在本世纪的人们将最终决定我们的命运。

除非发生自然灾害或一些灾难性的愚蠢行为，我们将进入人类共同的历史阶段，这一点是不可避免的。通过分析能源的发展过程，我最能清楚地看到这一点。



文明的排名

专业历史学家编写历史时，他们通过对人类历史经验和愚蠢行为，透彻地观察它，换言之，通过观察国王和王后的功绩、社会运动的兴起以及思想的扩散。相比之下，物理学家看待历史的方式则截然不同。

物理学家对一切事物进行排名，甚至包括按照消耗的能源对人类文

明排名。当这应用于人类历史中，我们看到，追溯到数千年前，我们的力量限于1马力的五分之一，属于赤手空拳的力量，因此，我们在小范围、流浪部落的游牧生活里居住，在恶劣的、敌对的环境中觅食。追溯到亿万年，我们与狼难以分辨。那时没有书面的记录，只是在偏僻的篝火边世世代代流传下来的故事。生命短暂而野蛮，平均寿命只有18到20岁。你背上的全部家当构成你的财富总额。你的大部分生活伴随着饥饿痛苦的折磨。在你生命终结之后，在你曾生活的环境中没有留下任何踪迹。

但在一万年以前，一件不可思议的大事的发生标志着文明运动的开端：冰河时代的结束。我们仍然不明白成千上万年冰河期结束的原因。但这为农业的兴起奠定了基础。马和牛很快就被驯化，让我们的力量增加到1马力。现在一个人有能力收获几亩的农田，产生足够的节余能量供养一个迅速扩大的人口。动物的驯养使人类不再主要依靠狩猎动物为食，并开始在森林里和平原上兴建起第一个牢固的村庄和城市。

农业革命创造的剩余财富催生出维持并扩大这种财富的巧妙的新方式。数学与写作应运而生来计算这笔财富，需要日历来记录种植和收获的日期，需要文书和会计来记录这种盈余和税收。这些剩余财富最终导致大规模军队、王国、帝国、奴役和古代文明的崛起。

下一场革命大约发生在300年以前，伴随着工业革命的到来。突然间，个人财富的积累不仅是其双手和马力的结果，而是通过大规模生产创造神话般财富的机器的产物。

蒸汽机可以驱动强大的机器和机车，这样，财富不仅从农田，还能从工厂、磨房以及矿山创造。逃离周期性饥荒和厌倦田间繁重工作的农民涌向城市，创造了产业工人阶级。铁匠和马车夫最终由汽车工人取代。随着内燃机的发明，现在一个人可以指挥数以百计的马力。寿命开始延长，到1900年，美国创下人均49岁的纪录。

最后，我们进入第三次浪潮，财富的创造来自信息革命。现在衡量国家财富的是在世界各地的光纤电缆和卫星中循环使用的电子，最终跳跃到华尔街和其他金融资本的电脑屏幕上。科学、商业和娱乐以光的速度进行传播，随时随地赋予我们无限的信息。



I类、II类和III类文明

能源指数上升将如何继续持续到未来的世纪和千年？当物理学家试图分析文明时，我们对它们的排名是基于对它们消耗的能源。这种排名首先由俄罗斯天体物理学家尼古拉·卡尔达肖夫（Nikolai Kardashev）提出，他感兴趣的是在夜空中探测由太空先进文明发出的信号。

他对像“外星文明”一般模糊不清且不明确的事物感到不满意。所以，他引进定量标度来引导天文学家的工作。他认识到外星文明可能会根据自己的文化、社会、政府等而有所不同，但有一点他们都必须服从：物理定律。地球上，有一件事物是我们可以观察和测量的，并且它可以将这些文明分为不同的类别：他们的能源消耗量。

于是，他提出了三个理论类型：I类文明属行星文明，消耗落在其星球上的阳光，或者说约10^{17}瓦。II类文明属恒星文明，消耗太阳释放的所有能量，或者说10^{27}瓦。III类文明属银河系文明，耗费10亿颗恒星的能量，或者说约10^{37}瓦。

这种分类的好处是，我们可以量化每一种文明的能量，而不是进行模糊和胡乱的概括。既然我们知道这些天体的能量输出，当我们仰望星空，我们可以对它们每一个进行具体数值的限定。

每种类型相差100亿倍：III类文明比II类文明多消耗100亿倍的能量（因为在一个银河系里大约有100亿颗或更多的恒星），反过来，II类文明又比I类文明多消耗100亿倍的能量。

根据这种分类，我们目前的文明是0类。我们甚至没有根据这种标准进行评估，因为我们通过枯萎的植物获取能源，即从石油和煤炭。（推广这种分类的卡尔·萨根试图对我们在这个宇宙规模上的排名得到一个更精确的估计。他的计算表明，我们实际上属于0.7 H型文明。）

根据这种标准，我们也可以对科幻小说中看到的各种文明进行分类。

一个典型的I类文明将属于“巴克·罗杰斯”（Buck Rogers）或“飞侠哥顿”（Flash Gordon）的文明，因为整个地球的能源资源已经被开发。他们可以控制所有行星的能量来源，因此他们也许能随意控制或修改天气，控制飓风的威力，或者在海洋上修建城市。虽然他们通过火箭徜徉天空，他们的能量输出仍然主要限于一颗行星。

II类文明可能包括《星际迷航》里的星际联邦（没有曲速引擎驱动器），他们能够殖民化大约100颗最近的恒星。他们的技术勉强能够操纵一颗恒星的整个能量输出。

III类文明可能是出现在《星球大战》传奇故事中的帝国，或者是《星际迷航》系列里的博格（Borg），这两者已经征服大部分的银河系，包围数以亿计的恒星系统。他们可以随意漫游银河系的空间车道。

〔虽然卡尔达肖夫指数（Kardashev scale）是根据行星、恒星和银河系进行分类，我们应该指出有可能存在着IV类文明，其能量来自银河系外的能源。超出我们银河系的唯一已知能量来源是暗能量，这构成已知宇宙73%的物质和能源，而恒星和星系世界只占宇宙的4%。IV类文明的一个可能候补者或许是《星际迷航》系列里似神的Q，它的能量来自银河系之外。〕

我们可以利用这种分类方式计算出我们在什么时候可能实现各种类型的文明。假定，就其集体国内生产总值而论，世界文明每年将以1%的速度增长。当我们平均分配过去几个世纪时，这是一个合理的假设。根据这个假设，从一个文明过渡到下一个文明大约需要2500年。2%的增长率将需要1200年的过渡期。

但是，我们同样可以计算出我们的星球实现I类分类将需要多长时间。尽管存在经济衰退和扩张、繁荣和萧条，我们可以从数字上估算，考虑到我们经济增长的平均速度，将需要大约100年的时间达到I类状态。



从0类过渡到I类

每当打开报纸，我们看到从0类过渡到I类的证据。许多的头条新闻可以追溯到I类文明诞生时的阵痛，这仿佛就浮现在我们的眼前。

- 互联网是I类行星电话系统的开端。历史上第一次，一块大陆上的人可以不费吹灰之力与另一块大陆上的同仁交流无限的信息。事实上，许多人已经感受到他们与世界另一端的同仁，要比他们与隔壁邻居有更多的共同点。随着国家布埋下更多的光纤电缆并发射更多的通信卫星，这个过程只会加速，而且势不可挡。即使美国总统试图禁止互联网，他将只会遭到嘲笑。目前，世界上大约有10亿台个人电脑，大约近四分之一的人类至少已经上网一次。
- 少数语言，英语为首，其次是汉语，正迅速成为未来I类语言。例如，在万维网上，29%的访问者用英语登录，排名其后的是，汉语22%，西班牙语8%，日语6%，法语5%。事实上，英语已经是科学、金融、商业和娱乐的行星语言。英语是这个星球上头号的第二语言。无论身在何处，我发现英语已经一跃成为通用语。例如，在亚洲，当越南、日本和中国正在举行会议，他们使用英

语进行交流。根据原阿拉斯加土著语言中心大学的迈克尔·E.克劳斯（Michael E.Krauss），目前地球上约有6000种语言，在未来几十年，其中90%的语言预计将要灭绝。电讯革命正在加速这个过程，即使生活在地球最偏远地区的人们也有机会接触英语。随着其社会进一步融入世界经济，这也将加快经济发展，从而提高人民生活水平和经济活动。

有些人将会哀叹，一些祖先的语言将不复存在。但另一方面，计算机革命将会保证这些语言不会丢失。说本族语的人将把他们的语言和文化增添到互联网上，那样的话，这些语言将永远流传下去。

- 我们正在目睹行星经济的诞生。欧盟和其他贸易集团的兴起，代表I类经济的出现。从历史上看，千百年来欧洲各国人民与他们的邻国发生了流血冲突。甚至在罗马帝国灭亡之后，这些部落继续相互屠杀，最终成为欧洲敌对国家。然而今天，这些竞争对手突然联结起来形成欧洲联盟，代表着地球上最大的财富集中营。这些国家突然抛开他们对手的原因，是为了与签署北美自由贸易协定（NAFTA）的经济巨头竞争。未来，我们将看到更多经济集团的形成，这是由于众多国家意识到，除非加入有利可图的贸易集团，否则他们无法保持竞争力。

  当分析2008年的大衰退时，我们察觉到这个生动的证据。在短短几天内，来自华尔街的冲击波就波及伦敦、东京、中国香港和新加坡的金融大厅。今天，不理解影响世界经济的趋势，就不可能了解一个民族的经济。
- 我们正注视着地球上中产阶级的崛起。数以万计的中国人、印度人和其他地方的人正加入这个行列，这也许是本世纪后半个世纪出现的最大社会动荡。就影响地球的文化、教育和经济趋势而论，这一团体具有实际经验。地球上中产阶级所要的不是战争、宗教或严格的道德准则，而是政治和社会的稳定以及消费品。如果他们的目标是拥有一栋郊区的房子并配有两辆车的话，那么，他们的祖先曾坚守的思想和部落激情对他们来说就毫无意义。他们的祖先曾经为他们的儿子去打仗而庆祝，而现在他们关注的一个主要问题是把他们的子女送进一所优秀的大学。对于那些羡慕地注视他人提升的人而言，他们会想，什么时候该轮到自己呀。麦肯锡公司的一位前资深合伙人大前研一（Kenichi Ohmae）写道：“人们将不可避免地开始环顾四周，并询问为什么他们不能拥有其他人所拥有的。同样重要的是，他们将开始询问，为什么他们不能在过去拥有它。”
- 判断超级大国的新标准是经济，而不是武器。欧盟和北美自由贸易区的兴起凸显了一个重要论点：随着冷战的结束，一个世界强国主要通过经济实力保持其霸主地位，这一点显而易见。打核战争简直太危险，所以正是经济实力将在很大程度上决定国家的命运。促成苏联解体的一个因素是，与美国进行军事竞争的经济压力。（正如罗纳德·里根总统的顾问曾评论说，美国的战略是要让俄罗斯陷入萧条，就是说，增加美国的军费开支，这样，经济发

展不到美国一半的俄罗斯，为了赶上美国的步伐，不得不让本国人民食不果腹。）将来，一个超级大国只有通过经济实力才能维持它的地位，这点很明确。而这又源于科学和技术。

- 在青年文化（摇滚和青春时尚）、电影（好莱坞大片）、高级时装（奢侈品），以及食品（大众市场的快餐连锁店）的基础上，世界范围的文化正在崛起。无论你在何处旅行，你可以找到有关音乐、艺术和时尚方面相同文化潮流的迹象。例如，当好莱坞估计一部有潜力的电影是否能成功时，就要把全球吸引力作为因素仔细考虑。囊括跨文化的主题（如动作片或爱情片）并用国际公认的知名人士包装，是好莱坞影片卖座的诀窍，这正是新兴全球文化的征兆。

　　我们在二战后注意到这种现象的出现，当时人类历史上有史以来第一次整整一代的年轻人拥有足够的可支配收入来改变现行文化。以前，孩子们一旦进入青春期，就被送入田间与他们的父母辛勤劳作。（这是为期3个月暑假的起源。在中世纪，孩子们一旦成年，就被要求在暑假期间到田里从事繁重的工作。）但是，伴随渐渐增长的繁荣，战后婴儿潮一代离开农田走上街道。今天，当经济发展赋予青年人充足的可支配收入，我们看到一个又一个的国家出现同样的模式。最终，当世界上大多数人群进入中产阶层，他们中的年轻一代将获得越来越多的收入，助长了这种全球青年文化的持续。

　　摇滚乐、好莱坞电影，等等，实际上是知识资本主义如何取代商品资本主义的最好例证。在今后几十年发明的机器人将无法创造出能够刺激国际观众的音乐和电影。

　　这同样正发生在时尚界，少数品牌正向全世界扩大触角。当更多的人进入中产阶级并向往一些富人的魅力时，曾经仅保留给贵族和富豪的高级时装，现在正迅速在世界各地扩散。高级时装不再是特权阶层的专利。

　　但全球文化的出现，并不意味着当地文化或习俗将被淘汰。相反，人们将掌握两种文化。一方面，他们将继续使他们当地的文化传统保持生机（而且互联网保证，这些区域习俗将永远存在）。丰富的世界文化多样性将继续蓬勃发展，并走向未来。事实上，某些晦涩难懂的本土文化特点可以通过互联网传播到世界各地，赢得全世界的拥护者。另一方面，人们将精通影响全球文化的变化趋势。当人们与另一种文化同仁沟通交流时，他们通过全球文化这样做。这已经发生在地球上许多精英的身上：他们讲当地语言，并遵守当地的风俗习惯，但与来自其他国家的人打交道时，他们使用英语，并遵循国际惯例。这是新兴I类文明的典范。当地文化将继续蓬勃发展，与较大的全球文化并肩共存。

- 新闻正遍及全球范围。有了卫星电视、手机、互联网等，一个国家不可能完全控制和过滤新闻。毛片（raw footage）从世界的各个角落兴起，这让检查员鞭长莫及。当战争或革命爆发，鲜明的图像立即在世界各地播出，就好像他们在实时发生。在过去，19世纪的大国强加自己的价值观并操纵新闻，这是比较容易的。今

天，这仍然是可能的，但由于先进的技术，范围大幅减少。此外，随着世界各地的教育水平不断提高，世界新闻拥有更多的听众。如今，当政治家考虑自己行为的后果时，他们必须考虑世界舆论。

- 体育，对于过去铸造一个部落和获得民族认同，是必不可少的，现在它正在打造一个全球身份。足球和奥运会正在兴起，支配全球的体育运动。例如，2008年奥运会，被广泛理解成中国人的亮相盛会，经过好几百年的隔离之后，他们想要在世界上担任其应有的文化地位。这也是一个“洞穴人原理”的实例，因为体育属于高接触（High Touch）的个人文化，并逐渐进入高科技（High Tech）领域。
- 正在全球范围展开了环境威胁的辩论。各个国家都意识到，他们所造成的污染超越国界，因此可能引发一场国际危机。当南极上空出现一个硕大的臭氧层洞时，我们第一次注意到这件事。由于臭氧层具有防止来自太阳的有害紫外线和X射线到达地面的功能，各国联合起来限制冰箱和工业系统使用的氟氯化氢（氟利昂）的生产和消费。1987年签署的《蒙特利尔议定书》，成功地降低了消耗臭氧层化学物品的使用。在国际范围取得成功的基础上，大多数国家通过了1997年的《京都议定书》，以应对全球变暖的威胁，它对地球环境是一个更大的威胁。
- 旅游业是地球上增长最快的行业之一。人类历史的大部分时期，人们通常在自己出生地的几英里范围内度过整个人生。寡廉鲜耻的领导人很容易操纵他们的人民，他们与其他国家的人民几乎没有接触。但今天，人们可以支配适度的预算周游世界各地。今天，根据预算住在青年旅社、在世界各地进行徒步旅行的青年人也许将成为明天的领导人。有些人责备游客对当地的文化、历史、政治了解得很肤浅。但我们必须把它和过去进行比较，那时远方的文化之间的联系几乎不存在，除非是在战争时期，而且往往是悲剧性的结果。
- 同样，洲际旅行的价格下降正在加速不同民族之间的联络，这让战争更难发动，并且传播民主的理念。国与国之间煽动仇恨的一个主要因素是人与人之间的误解。一般情况下，对一个你通晓的国家发动战争，这相当困难。
- 战争本身的性质正在发生变化，以反映这一新的现实。历史已经证明，两个民主国家几乎从未向对方发动战争。过去几乎所有的战争都发动在非民主国家之间，或民主国家与非民主国家之间。一般情况下，战争狂热煽动者可以很容易地使敌人妖魔化。但在一个民主国家里，它拥有充满活力的媒体、反对党，以及会在战争中失去一切安逸的中产阶级，战争狂热更加难以培植。当存在一个持怀疑态度的媒体和要求知道为什么自己的孩子要去战争的母亲时，很难掀起战争狂热。

未来仍然会有战争。正如普鲁士军事理论家卡尔·冯·克劳塞维茨（Carl von Clausewitz）曾经说过：“战争是政治的其他手段。”虽然我们仍然有战争，其性质将随着民主在世界各地的传播

而改变。

〔为什么当世界变得更加富裕和人民将失去更多时，战争越来越难发动，这还存在另一个原因。政治理论家爱德华·勒特韦克（Edward Luttwak）已经为此作了说明，因为今天的家庭规模越来越小。过去，一般的家庭有十来个孩子，长子继承农场，而弟妹加入教会、军队或到其他地方寻求自己的命运。如今，当一个普通家庭平均有1.5名儿童，没有剩余儿童来轻易地填补军事和神职人员的职位，因此，战争将很难发动，特别是民主国家之间和第三世界的游击队。〕

- 国家将变衰弱，但在2100年仍然会存在。仍然需要他们制定法律并解决当地问题。然而，当经济增长的引擎先成为区域性之后便是全球性，他们的权力和影响力将大幅下降。例如，伴随着18世纪末期和19世纪早期资本主义的崛起，国家需要强制执行一种通用的货币、语言、税法和有关贸易和专利的规定。封建时代的法律和传统，阻碍了自由贸易、商业和金融的推进，由国家政府迅速扫清。通常情况下，这个过程可能需要一个世纪左右，但当铁血宰相奥托·冯·俾斯麦（Otto von Bismarck）在1871年建立了现代德国的国家，我们看到了这种过程的加速。以同样的方式，这种向I类文明的迈进正改变资本主义的本质，经济实力正逐步从国家政府转移到地方政权和贸易集团。

  这并非意味着会出现一个世界政府。全球文明的存在有许多方式。各国政府将失去相对权力，这一点显而易见，但何种权力将填补空白，将取决于诸多历史、文化和国家的发展趋势，这难以预测。

- 疾病将在全球范围得到控制。在古老的过去，致命的疾病事实上并非那么危险，因为当时的人口非常少。例如，无法治愈的埃博拉病毒（Ebola virus，导致出血性发热症状），数千年只感染几个村庄的一种古老疾病。但是，文明迅速扩张到早先无人居住的区域以及城市的兴建，意味着与埃博拉病毒类似的事物必须得到非常严密的监测。

  当城市人口达到几十万到一百万时，疾病可能迅速蔓延，并引发真正的流行病。事实上，黑死病（Black Plague）造成近半数欧洲人口死亡的这一事实，是一种具有讽刺意味的由进步引起的结果，因为当时的人口已经达到了流行病肆虐的临界点，并且运输航线已经把世界各地的古老城市连接起来了。

  最近爆发的甲型H1N1流感也说明了同样的问题。也许最先源自墨西哥城，通过飞机旅行，这种疾病在全球各地迅速蔓延。更重要的是，世界各国只用了短短几个月的时间就确定了病毒的基因序列，然后为它设计一种疫苗，提供给数以千万计的人民。



恐怖主义和独裁

不过，也有团体本能地抗拒向I类全球文明过渡的趋势，因为他们知道，这种文明是进步的、自由的、科学的、繁荣的和有知识的。这些力量可能没有意识到这个事实，并无法明确表达它，但他们实际上是同走向I类文明的趋势相对立。它们是：

- 伊斯兰恐怖分子，他们宁愿回到1000年前的11世纪，而不愿生活在21世纪。他们不能以这种方式宣泄他们的不满，但从他们自己的言论来看，他们更喜欢生活在科学、个人关系和政治都受到严格宗教法令限制的神权政体之中。（他们忘记了一点，在历史上只有包容新思想的宽大胸怀才可以与伟大的伊斯兰文明所拥有科学技术实力相媲美。这些恐怖分子无法理解伊斯兰文明过去之所以伟大的真正原因。）
- 依赖其民众对外界财富和发展保持无知的独裁统治。其中一个突出的例子是2009年发生在伊朗的示威游行，政府试图镇压示威者的想法，这些示威者使用微博和视频网络把他们的信息传递到全世界进行斗争。

过去，人们说笔比刀剑锋利。未来，比刀剑锋利的将是芯片。

朝鲜，一个挺贫穷的国家，其人民未富裕的原因之一是因为他们失去了与世界的所有联系，他们认为全世界的人民也和他们一样。在某种程度上，他们并没有意识到他们必须改变自己的命运，他们忍受着令人同情的艰辛。



II类文明

等到一个社会在未来的数千年里达到II类状态，它就成为不朽的。

科学上没有任何已知事物可以摧毁II类文明。由于早就掌握了天气的变化，冰河时代能够得以避免或改变。流星和彗星也可以发生偏转。即使他们的太阳发生超时空危机，人们将能够逃离到另一个恒星系统，或者阻止他们的星球发生爆炸。（例如，如果他们的太阳变成红巨星，他们凭借弹弓效应摆动围绕其旋转的小行星，以便推动他们的行星离太阳更远。）

II类文明能够利用恒星整个能量输出的一种方法，是在它周围创造一个巨大的球体，吸收那颗恒星的所有阳光。这就是所谓的戴森球体（Dyson sphere）。

II类文明很可能会与自身和睦相处。既然太空旅行是如此的困难，I类文明将一直持续几百年，需要充裕的时间以消除社会内部的分歧。等到I类文明达到II类状态，他们不仅将拓展到整个太阳系，而且包括附近的恒星，也许到几百光年远，但不会更远。他们仍然会受到光速的限制。



III类文明

等到一个文明达到III类状态时，它将探索大部分的银河系。访问成百上千亿颗行星最便捷的方式是向整个星系发送自我复制的机器人探测器。冯·诺依曼（von Neumann）探测器是一个有能力无限复制自身的机器人。它在月球上登陆（因为它不生锈、不腐蚀），从月球的灰尘中建造一所工厂，创造数千个自身的副本。每个副本火速发向其他遥远的恒星系统，生成更多成千上万的副本。从这样的一个探测器开始，我们很快就创造一个拥有上万亿进行这些自我复制探测器的大型探测器，其扩大的速度接近光速，仅仅在10万年映射出整个银河系。由于宇宙有137亿年的历史，这些文明有充足的时间可能崛起（并且衰落）。（如此迅速的指数增长同样是病毒在我们身体传播的机制。）

然而，还有另一种可能性。等到已达到III类文明状态时，人类已拥有足够的能源资源探测“普朗克能量”，或10^{19}千兆的电子伏特，能量在时空本身变得不稳定。（普朗克能量比我们最大的原子加速器，即日内瓦郊外的大型强子对撞机，释放的能量大万亿倍。正是这种能量让爱因斯坦的重力理论最终瓦解。根据这种能量，理论上讲，时空的结构最终将要分裂，创造出可能会通向其他宇宙或其他时空点的微小出孔。）利用这种巨大的能源将需要一个庞大的机器，其规模难以想象，但如果成

功的话，他们或许拥有可行的捷径来通过空间和时间的结构，或者通过压缩空间，或者通过虫洞传递。假设他们能够克服一些棘手的理论和实际的障碍（如利用充足的正能量和负能量以及消除不稳定），可以想象他们也许能拓展到整个星系。

这促使许多人猜测为什么他们不来看我们。他们在哪里？评论家们问道。

一个可能的答复是，或许他们已经来过，但因我们太原始、太落后而没有注意到。自我复制的冯·诺依曼探测器将是探索星系最切实可行的办法，它们的体积不必太庞大。因为纳米技术的革命性进步，它们或许只有几英寸长。它们可能外表朴实无华，但由于我们正在寻找错误的事情，盼望着一个巨大的星际飞船携带来自外太空的外星人，所以没有认出它们。更可能的是，探测器将是全自动的，部分有机构造，部分电子构造，根本不会携带任何外星人。

当我们最终遇见来自太空的外星人时，我们会感到惊讶，因为他们可能早已利用机器人技术、纳米技术以及生物技术改变了生物构造。

另一种可能性是，他们已经自我毁灭。正如我们所提到的从0类到I类的过渡最危险，因为我们仍然有所有的野蛮行径、原教旨主义、种族主义等等过去的表现。或许有一天，当我们拜访恒星，我们可以找到0类文明未能成功过渡到I类的证据（例如，他们的大气可能过于炎热或放射性太强，而不能维持生命）。



地外文明探索

目前，世界上的人们当然不会意识到正在向I类全球文明迈进。这一历史性的转变正在发生，却没有集体的自我意识。如果你进行一项民意调查，一些人可能会模糊地认识到全球化的进程，但除此之外，并没有觉察到我们正走向一个特定的目的地。

如果我们找到外太空智能生命的证据，这一切可能会突然改变。之后，我们将立即意识到我们的技术水平与外星文明的关系。尤其是科学家对这种外星文明已经掌握了哪些类型的技术而产生了浓厚的兴趣。

虽然不能确定，很可能在本世纪内，鉴于我们技术的突飞猛进，我们将发现太空中的一种先进文明。

这可能有两个趋势。首先是专门用来寻找体积小、多岩石的太阳系外行星的科罗卫星和开普勒卫星。开普勒卫星预计在太空中能识别多达600颗体积小，类似地球的行星。一旦这些行星已经确定，下一步就是要集中搜寻这些行星中的智能信号。

2001年，微软的亿万富翁保罗·艾伦开始捐赠资金启动搁置的搜寻地外文明（SETI）计划，目前资金已经超过3000万美元。这将大大增加位于旧金山北部克里克（Hat Creek）安装的射电天文望远镜的数量。艾伦望远镜阵列，当其充分运作时，将有350个射电天文望远镜，使其成为世界上最先进的射电望远镜设施。然而在过去，天文学家在搜索智能生命时已经微量扫描了1000多颗恒星，新的艾伦阵列的扫描数目将增加1000倍，达到1万颗恒星。

虽然科学家一直徒劳地在寻找先进文明的信号有将近50多年的时间，直到最近，这两个项目才为搜寻地外文明计划给予了急需的推动力。许多天文学家认为，之前致力于这个项目付出的精力太少，投入的资源太少。随着这种新资源和新数据的大量涌入，搜寻地外文明计划正成为一个重要的科学项目。

可想而知，我们可能会在本世纪内，从太空中的智能文明检测到信号。〔海湾地区搜寻地外文明研究所所长赛斯·肖斯塔克（Seth Shostak）告诉我说，未来20年内，他希望能与这样一种文明取得联系，这种观点可能太过乐观，但可以肯定地说，在本世纪内，如果我们检测不到来自太空的另一种文明的信号那才奇怪呢。〕

如果从一种先进文明中发现信号，它可能是人类历史上一个最重要的里程碑。好莱坞电影喜欢用此来形容这一事件可能引发的混乱，如先知般地告诉我们：末日将临、疯狂的宗教礼拜进入超时状态，等等。

然而，现实状况更加平静。根本没有必要立即恐慌，因为这种文明甚至可能不知道我们正在窃听他们的谈话内容。如果他们知道，考虑到两者之间的遥远距离，他们和我们之间的直接对话将会很困难。首先，它可能需要数月到几年的时间对信息完全解码，然后给这个文明技术进行排名，看它是否符合卡尔达肖夫分类。其次，与他们的直接沟通很可能不会发生，因为距离这种文明将有数百光年远，取得任何直接联系太过遥远。因此，我们将只能观察这种文明，而不是进行任何对话。我们将努力建立庞大的无线电发射器，可以给外星人送回信息。但事实上，与这种文明取得任何双向沟通，或许需要几百年的时间。



新的分类

卡尔达肖夫分类（Kardashev classification）在20世纪60年代提出，当时的物理学家们担心能源生产。不过，随着计算机能力的令人瞩目的提高，注意力转向信息革命，文明处理的比特数量和能源生产一样有重大意义。

例如，可以想象，行星上外星文明的计算机是不可能存在的，因为他们的大气导电。在这种情况下，任何电气设备很快就会短路，生成火花，因此只有电器的最原始形式才可能。

大型发电机或电脑将迅速烧坏。我们可以想象这样一种文明或许最终掌握化石燃料和核能源，但他们的社会将无法处理大量的信息。对他们而言，创造一个互联网或行星通讯系统将会有困难，所以他们的经济和科学发展将受到阻碍。虽然他们将能够在卡尔达肖夫指数上呈现上升趋势，但如果没有电脑，这将是非常缓慢且痛苦的。

因此，卡尔·萨根根据信息处理引进了另一个等级尺度。他设计了一个系统，包含英文字母，从A到Z，与信息相对应。A型文明是一个只处理100万条信息的文明，这相当于一个只有口语而没有书面语的文明。如果我们编译所有古希腊存活的信息，古希腊拥有蓬勃发展的书面语和文学，这大约有10亿比特的信息，使其成为一个C型文明。随着指数的上升，然后我们可以估算我们文明进程的信息量。有根据地猜测我们将置于H型文明。因此，我们文明的能量和信息处理产生一个0.7 H型文明。

近年来，另一个问题浮出水面：污染及浪费。能量和信息不足以给一种文明排名。事实上，一个文明消耗的能量越大，释放的信息越多，它产生的污染和废物可能越多。这不是一个学术问题，因为来自I类文明或II类文明的废物可能足以摧毁它。

例如，一个II类文明消耗由恒星产生的所有能量。让我们这样说，它的发动机具有百分之五十的效率，即它所产生的一半垃圾都是以热的形式出现。这可能具有灾难性，因为它表示地球的温度将会上升直到其融化！想象一下数以万计的燃煤发电厂在这样一个星球上喷出巨大的热量和气体，把地球加热到极限，最终生命无法存在。

事实上，弗里曼·戴森（Freeman Dyson）曾经通过搜索，那些主要

释放红外射线而非X射线或可见光的物体，试图在外太空找到II类文明。这是因为，即使II类文明在它周围建立一个球体，想要隐藏自身不被窥视，它将会不可避免地产生足够的废热，以致它会爆发出红外辐射。因此他建议天文学家搜索主要产生红外光的恒星系统。（然而，一无所获。）

但这引起了关注，任何允许其能源增长失控的文明可能会自寻了断。因此，当文明指数上升时，我们看到能量和信息不足以确保它的幸存。我们需要一个新的等级尺度，把效率、废热和污染考虑进去。真正有用的新尺度是基于另外一个概念，即“熵”。



按熵对各种文明进行排名

按照理想的做法，我们想要的是一种在能量和信息方面增长的文明，但要采取明智的做法，这样其星球不至于达到不堪忍受的闷热或造成遍地废物。

迪斯尼电影《机器人总动员》（*Wall-E*）绘声绘色地描绘了这一场景，在那遥远的未来，我们使地球遭受严重的污染和退化，我们仅仅在身后留下烂摊子，在外太空漂流的豪华游轮上过着自我放纵的生活。

这里，热力学定律很重要。热力学第一定律，简单地说，你不可能不劳而获，即天下没有免费的午餐。换句话说，宇宙中物质和能源的总量是恒定的。但正如我们在第3章中所看到的，热力学第二定律是最有趣的，而且，事实上，最终可能决定一种先进文明的命运。简单地说，热力学第二定律说熵的总量（无序或混乱）总是增加的。这意味着万物皆会消失，物体必须腐烂、衰退、生锈、老化或者瓦解。〔我们从来没有看到总熵减少，例如，我们从来没有看到煎鸡蛋从煎锅里跳出来并回到蛋壳里去，我们从未见过一杯咖啡的糖晶体突然不溶解并跳进你的勺子，这些事件极其罕见，以至于“不融合”（unmix）这个词在英语或任何其他语言里都不存在。〕

因此，如果未来的文明盲目地产生能量，当他们上升到II类文明或III类文明时，他们将创造如此多的废热，以至于他们的地球家园将无法居住。熵，通过废热、混乱以及污染的形式，将从根本上摧毁他们的文明。同样，如果他们通过砍伐整片森林和产生堆积如山的废纸的方式制造信息，文明将被埋葬在其自身的信息垃圾里。

因此，我们不得不引入给文明排名的另一种尺度。我们将推出两款新的文明类型。首先是“熵节约”（entropy conserving）文明，它使用可支配的一切手段来处理多余的废物和热量。由于其能源需求继续成倍增长，它认识到其能源消耗可能会改变行星的环境状况，从而无法生活。先进文明所产生的整体混乱失序或者熵将继续飙升，这是无法避免的。但如果他们使用纳米技术和可再生能源来消除浪费和低效，局部的熵可以在他们的星球上减少。

第二种文明是“熵浪费”（entropy wasteful）文明，继续扩大其能源消耗而不受限制。最后，如果地球家园变得无法居住，这种文明可能会试图通过向其他行星的扩张来逃离自身的过度行为所造成的困境。但在外太空建立殖民地的成本将限制它的扩张能力。如果这种熵的增长速度超过它扩张到其他行星的能力，那么它将面临灾难。



从大自然的主人到大自然的保护者

正如我们前面所提到的，在古时候，我们是自然之舞的消极观察员，惊奇地凝视着我们周围的奥秘。今天，我们就像是自然的舞蹈指挥，能到处调整自然的力量。到2100年，我们将成为自然的主人，可以根据我们的想法移动物体，控制生命和死亡，并探索星际。

但如果我们成为大自然的主人，我们也将必须成为大自然的保护者。如果我们让熵不受限制地增加，根据热力学定律，我们将不可避免地灭亡。按照定义，II类文明和一颗恒星消耗的能量一样多，因此，如果允许熵有增无减，地球表面温度将灼热难忍。但也有办法来控制熵的增长。

例如，当我们参观博物馆，看到19世纪巨大的蒸汽发动机，以及它们巨大的锅炉和黑煤车皮时，我们看到它们是多么的低效、浪费能源，以及产生巨额的热量和污染。如果我们把它们与一种无声的、造型优美的电动火车进行比较，我们看到今天如何更有效地利用能源。如果人们的家用电器经过可再生能源和微型化成为高效率的能源，那么就可以大幅度减少对硕大燃煤发电厂的需要，它向空气中喷出大量的废物热和污染。随着机器缩小到原子尺度，纳米技术使我们有机会进一步减少废热。

另外，如果在本世纪发现了室温超导体，就意味着彻底改变我们的

能源需求。废热（以摩擦的形式呈现）将大大降低，并提高我们机器的效率。正如我们提到的，我们能源消耗的大部分，尤其是交通运输，均为达到克服摩擦的状态。这就是为什么我们把汽油装进油罐的原因，如果没有摩擦的话，即使把它从加州运到纽约也不需要任何能源。可以想象，一种先进文明将能够执行更多的任务，而使用的能源比今天的更少。这意味着，我们或许可以对先进文明所产生的熵进行数值限制。



最危险的过渡

从当前的0类文明向未来I类文明的过渡或许是历史上最伟大的过渡。这将决定我们是否会继续蓬勃发展和繁荣昌盛，或由于我们自身的愚蠢而毁灭。这种转变极其危险，因为我们仍然还具有从沼泽里痛苦崛起时所有野蛮蒙昧的特点。剥开文明的外衣，我们仍然看到原教旨主义、宗派主义、种族主义、不容异说等等力量在起作用。人类的本性在过去10万年间发生没有太大的变化，只是现在我们拥有了核武器、化学武器和生物武器来平定旧有的仇恨。

然而，一旦我们进入向I类文明的过渡，我们将有几个世纪的时间来解决我们之间的分歧。正如我们在前面章节中看到的，太空移民区在未来将继续极其昂贵，因此，世界人口的主流部分将不太可能前去拓殖火星或小行星地带。在全新的火箭设计降低成本或者建成太空电梯之前，太空旅行将继续成为各国政府和有钱人的专属。对于地球上的大多数人口而言，这意味着当我们实现I类状态，他们将留在这个星球上。这同样意味着，当成为I类文明时，我们将有上百年来的时间解决我们的分歧。



寻找智慧

我们生活在一个激动人心的时代。科学技术为我们打开了世界，这在以前我们只能梦想。当展望充满科学的未来，其所有的挑战和危险并

存，我看到了真正的希望。在未来几十年，我们将发现大自然的更多方面，比人类历史上对大自然了解的总和还要多许多倍。

然而，情况并不总是这样。

想一想美国伟大的科学家、政治家本杰明·富兰克林（Benjamin Franklin）所说的话，他不仅对下个世纪作出预测，对未来千年也作了预测。1780年，他不无遗憾地指出：人们往往如狼般凶残行事对待其他人，这主要是因为生存在这个残酷世界里的沉重负担。

他写道：

> 无法想象，在未来的一千年，人类对于物质的控制力量可以达到的高度。为了方便运输，我们也许可以学会减少大质量物体的重力，使物体变得绝对的轻巧。农业可能会使劳动强度降低和使产品翻倍；所有的疾病可能通过可靠的手段得到预防或治愈，即使是老年人的疾病也不例外，我们的生命尽情地延长，甚至超越了上古的标准。

他写这些话的年代，正值农民们从土地中收获微薄的农作物，牛拉车给市场带来了腐烂的农产品，生活中充满了瘟疫和饥饿，并且只有少数幸运儿年龄超越40岁。（1750年的伦敦，三分之二的儿童未满5岁便死亡）。富兰克林生活在看似绝望的年代，或许有一天，我们也许能解决这些古老的问题。或者正如托马斯·霍布斯（Thomas Hobbes）在1651年写道，生命是“孤独的、贫困的、肮脏的、粗野的以及短暂的”。

但今天，富兰克林阐述的千年还没有过多久，他的预言就已经实现了。

这种信念——理性、科学和智力终将有一天把我们从过去的压迫中解放出来——在侯爵孔多塞（Marquis de Condorcet）1795年的作品《人类精神进步史表纲要》（*Sketch for a Historical Picture of the Progress of the Human Mind*）中产生了共鸣，其中有些人声称这是有史以来对未来事件的最准确的预测。他提出了多种预测，所有这些在当时都是相当异端的，但所有这一切都变成了现实。他预测新世界的殖民地最终挣脱欧洲，然后从欧洲的技术中受益，迅速发展。他预测奴隶制的结束随处可见。他预测农场将大大增加它们每英亩生产食品的数量和质量。他预测科学将急速发展并造福于人类。他预测我们将摆脱日常生活的折磨并拥有更多的闲暇时间。他预测计划生育总有一天会被普遍推广。

在1795年，要实现这些预言似乎是没有希望的。

本杰明·富兰克林和孔多塞侯爵都生活在这样一个时代，当时生命短暂和生活残酷，科学还处于萌芽阶段。现在回顾这些预测，我们可以充分体会科学和技术的突飞猛进，创造了足够的富饶和财富，把无数人从

过去的野蛮生活中解救出来。回顾富兰克林和孔多塞的世界，我们可以理解人类的所有创造，迄今为止最重要的当属科学创造。科学已经把我们从充满沼泽的泥潭中解救出来，并引领我们迈向恒星世界的门槛。

但科学并不固步自封。正如我们早些提到，到2100年，我们将拥有神话中我们曾经崇拜和敬畏的神赐予的力量。特别是，计算机革命将会赋予我们能力：用思维来操纵物质。生物技术革命将会赋予我们能力：几乎在有需要时就繁衍生命，并延长寿命。纳米技术革命或许赋予我们能力：改变物体的构造甚至凭空创造物体。所有这一切或许最终导致建立全球I类文明。因此，现在活着的这一代是有史以来在地球表面行走过的最重要的一代，因为我们将要确定我们是否将达到一种I类文明或坠入深渊。

但是，科学本身在道义上是中立的。科学就好像一把双刃剑。剑的一侧可以减少贫困、疾病和无知。但是剑的另一侧可以伤害人民。这把剑要发挥多么强大的作用取决于舞剑者的智慧。

正如爱因斯坦曾经说过：“科学只能确定是什么，而不能决定应该是什么；超越其领域，价值判断仍是不可缺少的。”科学解决了一些问题，但在一个更高的层次上又引起了一些新的问题。

在第一次世界大战和第二次世界大战期间，我们看到科学那原始的、破坏性的一面。随着毒气、机枪、整个城市的火焰炸弹以及原子弹等被引入战争，世界在惊恐中目睹了科学是如何带来前所未有的空前规模的毁灭和破坏。20世纪前50年的野蛮行径所释放的暴力几乎不可思议。

但科学同样允许人类重建并从战争的废墟中崛起，为亿万人民创造了更大的和平与繁荣。因此，科学的真正力量是，它授予我们才干并赋予我们能力——给我们更多的选择。科学赞美了人类的革新精神、创新精神和持久精神，同样也放大了我们明显的缺陷。



未来的关键：智慧

因此，关键是要找到挥舞这把科学之剑的智慧。正如哲学家伊曼努尔·康德曾经说过：“科学是系统化的知识。智慧乃是有组织的生活。”在我看来，智慧是一种能力，它能够确定这个时代的关键问题，从不同的角度和观点分析问题，并做出选择来执行某一崇高目标和原则。

在我们这个社会，智慧来之不易。正如艾萨克·阿西莫夫曾说：“现在社会最悲惨的方面是科学积累知识的速度比社会积累智慧的速度快。”与信息不同，它无法通过博客和网上讨论的方式进行。由于我们淹没在信息的海洋中，在现代社会中最珍贵的商品便是智慧。没有智慧和洞察力，我们将会漫无目的、毫无目标地随波逐流，在无限信息的新奇消失殆尽之后，留下空虚渺茫的感觉。

但智慧从何而来？在某种程度上说，智慧来自与对立面进行理性和明智的民主辩论中。这种辩论往往是凌乱的、不得体的，总是闹哄哄的，但从充满浓雾的硝烟中浮现出真正的洞察力。在我们这个社会，这种辩论以民主的形式出现。正如温斯顿·丘吉尔曾经指出：“除了反复尝试过的办法之外，民主是最糟糕的政府形式。”

因此，民主不是件容易的事。你必须为此而努力。乔治·萧伯纳曾经说过：“民主是一种策略，确保我们受到的统治与我们应该受到的统治相差无几。”

如今，互联网虽然有各种缺点和过激行为，但正在成为民主自由的捍卫者。曾一度闭门讨论的问题正在被上千个网站剖析和研究。

独裁者生活在互联网的恐惧当中，害怕发生他们的人民奋起反抗的事情。所以今天，《1984》的梦魇已经一去不复返，互联网从一种恐怖手段变成一种民主手段。

在嘈杂的辩论中涌现出智慧。但改善激烈且民主辩论的最可靠途径是通过教育，因为只有一个接受过教育的选民，才能对将要决定我们文明命运的技术做出抉择。最终，人们将自行决定采取这些技术达到何种程度，以及它应该朝哪个方向发展，但只有一个开明的、有学问的选民可以明智地做出这些决定。

不幸的是，很多人对我们在未来面临的巨大挑战极度无知。我们怎样才能创造新产业以取代旧产业？我们将如何让年轻人为将来的就业市场做好准备？我们应该推动人类基因工程发展到何种程度？我们怎样才能改造一个腐朽的、功能失调的教育系统，以应付未来的挑战？我们如何才能面对全球气候变暖和核扩散现象？

一个民主国家的关键，是拥有一个有知识的、见多识广的选民，可以理性冷静地讨论日常问题。这本书的目的是帮助展开将决定本世纪发展的辩论。



未来，如同一列货运火车

总之，未来是由我们创造的。没有什么是一成不变的。如同莎士比亚在《恺撒大帝》（*Julius Caesar*）中写道：“亲爱的布鲁特斯，错并不在我们的命运，而在我们自己……”或者，正如亨利·福特曾经说，也许还不能雄辩地证明，“但历史或多或少是胡编乱造的。这是传统。我们不想拥有传统。我们要活在当下，唯一的值得人民肯定的历史，才是我们今天的历史。”

所以未来就好像一列巨大的货运列车，沿着铁轨高速行驶，朝向我们驶来。这列火车的背后是成千上万名科学家的汗水和辛劳，他们正在实验室里创造未来。你可以听到火车的鸣笛。它说：生物技术、人工智能技术、纳米技术和电信。然而，一些人的反应是：“我年纪大了，学不会这种东西，我只想躺下，让火车碾过。”相反，那些年轻、精力充沛、雄心勃勃的人反应说：“让我登上那列火车！这列火车代表着我的未来。这就是我的命运。让我坐到司机位置上。”

让我们期望，本世纪的人明智而充满怜悯地使用这把科学之剑。

但是，也许为了更好地了解我们如何生活在一种行星文明之中，幻想2100年的一天生活，看到这些技术将如何影响我们的日常生活，以及我们的事业和我们的希望与梦想，这可能具有启发意义。

9．2100年的一天生活

从亚里士多德到托马斯·阿奎那，完美意味着从经验中，从道德生活的实际关联中学到的智慧。我们的完美不在于基因的改进，而在于性格的提升。

——史蒂文·波斯特（Steven Post）



2100年1月1日，清晨6点15分

经过新年前夜的纵情狂欢之后，你正酣然大睡。

突然，你卧室的幕墙（wall screen）亮了起来，一个亲切且熟悉的面孔出现在屏幕上。这是莫莉，她是你新近购买的一个软件程序。莫莉笑眯眯地宣布道："约翰，起床了。工作需要你，你必须亲自出马。这事很重要。"

"不，等一下，莫莉！你是在开玩笑吗，"你发牢骚说，"今天是元旦节，我还宿醉未醒。到底是什么事如此重要？"

你慢慢悠悠地将自己拖下床，不情愿地走进浴室。当你洗脸时，镜子上、厕所里和水槽中的数百个隐藏的DNA和蛋白质传感器悄无声息地开始了工作，分析你呼出的气体和体液里的分子，从分子层面检查任何疾病所具有的最轻微的征兆。

你离开浴室，在头上四周缠绕上一些电线，这让你可以通过心灵感应控制你的家务：你用大脑提高公寓的温度，播放一些舒缓的音乐，告诉机器人厨师在厨房里准备早饭并冲泡一些咖啡，命令你的磁性轿车离开车库，准备好接你上班。当你走进厨房时，你看到机器人厨师的机械臂正按照你喜欢的方式准备鸡蛋。

然后，你戴上隐形眼镜，开始连接互联网。你眨一眨眼睛，网页图像便立刻传到了你的视网膜上。你一边喝着热咖啡，一边开始浏览在你的隐形眼镜里闪现出来的重要新闻。

- 火星前哨基地请求提供更多的补给。火星上的冬季即将来临。如果定居者想要完成下一阶段的殖民计划，他们需要更多的地球资源来应对严酷的寒冷天气。该计划是通过提高火星表面温度来实施火星地球化的第一个阶段。
- 第一批飞船准备发射。数百万个约针头大小的纳米机器人将从月球基地发射，利用木星磁场绕过木星，前往其附近的一颗恒星。然而，只有少数纳米机器人能够最终抵达远在另一个星系中的目的地，这将需要花费数年的时间。
- 又一种早已灭绝的动物即将入住当地动物园。这一次是一种罕见的剑齿虎，是用冰冻苔原上发现的剑齿虎DNA克隆而来的。由于地球的温度不断升高，人们发现了越来越多的灭绝动物留下的DNA，并通过克隆技术复原后填补到世界各地的动物园里。
- 太空货运已经成功地实施多年，现在太空电梯也正把有限数量的游客送往外层空间。自从太空电梯开放以来，太空旅行的费用近年来已经暴跌至最初的五十分之一。
- 采用核聚变技术的第一代核发电厂已经运行快50年了，现在这些核电厂应该逐步退役，用新建的核聚变发电厂替代它们。
- 科学家正在密切监视亚马逊河域地区突然出现的一种新的致命病毒。到目前为止，这种病毒似乎只局限在一个不大的范围内，但是我们现有的所有治疗方法都对其无效。多个科学家研究小组正全力以赴研究其基因序列，以了解它的弱点并找出有效的治疗方法。

突然，一条新闻吸引了你的注意力：

- 曼哈顿周围的堤防意外发现一个巨大的裂缝，如果不能及时修复，整个城市可能像世界上其他很多城市一样被海水淹没。

“嗯，哦，”你对自己说，“这就是办公室打电话来把我吵醒的原因。”

你顾不上吃早餐，穿上衣服飞奔出门。你的轿车已经自行开出车库，正在门外等着你。你通过心灵感应命令轿车尽快将你送到办公室。磁性轿车即刻连通了互联网、全球定位系统，以及数以万计隐藏在道路上的实时交通监控芯片。

磁性轿车无声地起飞了，飘浮在由超导路面形成的磁垫上。莫莉的面孔又突然出现在了轿车的挡风玻璃上。“约翰，办公室刚才通知说，让你直接到会议室同其他人一起开会。另外，还有一条你姐姐的视频信息。”

利用轿车自动驾驶的时间，你打开了姐姐留下的视频邮件。她的形象出现在你的手表上，说道：“约翰，还记得本周末我们要为凯文办一个生日派对吗？他今年6岁了，你答应过给他买一只最新款的机器狗。顺

便说一下，你现在有约会对象吗？我这会儿正在网上打桥牌，碰到了一个你可能喜欢的人。”

“哦。”你对自己说。

你喜欢坐在磁性轿车里游弋，没有颠簸也不会碰上坑坑洼洼，因为磁性桥车是在道路的上空行驶。而这种车最大的优点是几乎不需要加油，因为几乎不存在让轿车减速的摩擦力。（你不无开心地想到了本世纪早期居然发生过一场能源危机，简直难以置信。您摇摇头，意识到大部分的能源原来都被浪费在克服摩擦力上面了。）

你还记得超导高速公路第一次开通时的情形。当时的媒体感叹说：我们熟悉的电力时代即将结束，崭新的磁力时代即将到来。其实，你并不怀念电力时代。你向窗外望去，看到井然有序的轿车、卡车和火车在空中呼啸而过，你意识到磁力才是正确的选择，并且在其发展过程中还能节省金钱。

现在，你的磁性轿车正经过城市的垃圾场。你看到大部分的垃圾是计算机和机器人零件。现在芯片的成本几乎为零，甚至比水还便宜，淘汰下来的芯片正堆积在世界各地的城市垃圾场里，有人已经在讨论用废弃芯片作为土地填充物的可能性。



办公室

你终于到达办公楼，这是一家大型建筑公司的总部。当你进入大楼的时候，你几乎没发现有一台激光机正默默地检查你眼中的虹膜并辨别你的面孔。塑料安全卡早就不需要了，你的身体就是你的身份证。

会议室近乎无人，只有少数几个同事坐在桌子旁。但是，在你的隐形眼镜里很多其他参会者的三维图像便开始迅速出现在桌子周围。那些不能亲自来办公室开会的人通过全息术都已经到会。

你环视整个房间，确认所有的人都已经坐在会议桌旁，眼镜上面同时显现出了他们的个人简历和背景材料。你注意到他们之中有不少大人物，并把他们默默记在心里。

突然，你老板的形象出现在他的座椅上。“先生们，”他宣布，“你们可能已经听说，曼哈顿周围的堤坝突然开始渗漏，情况很严重。但是，

因为我们发现及时，所以没有倒塌的危险。然而，不幸的是我们派往修复堤防的那些机器人又停止了工作。”

瞬间，灯光暗淡下来，你们完全包围在水下堤坝的三维图像中。你们完全被淹没在水中，堤坝上一个巨大裂缝的图像呈现在你们面前。

随着图像的旋转，你们可以精确地看到正发生渗漏的位置。你清楚地看到了堤坝上的这个巨大而奇怪的裂缝，它引起了你的注意。“光靠机器人解决不了问题，”老板继续说道，“它们的程序中没有编入这一种类型的渗漏，我们必须派有经验的人到那里去进一步查明情况并灵活处置。不用我提醒你们也知道，如果我们失败，纽约可能遭受与其他大城市相同的命运，这些城市有些现在还泡在水中。”

所有参会人员都感到不寒而栗。他们都知道因为海平面上升而不得不放弃的那些大城市的名字。虽然可再生能源和核聚变发电几十年前就已经取代化石燃料成为地球能源的主要来源，但是到目前为止，人们仍然在遭受上世纪前50年释放到大气中的二氧化碳的影响。

经过反复讨论，会议决定派出一支人控机器人维修队。这正是发挥你的专业特长的领域，因为正是你帮助设计了这种机器人。训练有素的人类工人被安置在一种特殊的吊舱里，他们头上装有一圈电极，大脑信号通过这些电极与机器人形成心灵感应。他们坐在吊舱里就可以看到并感受到机器人看到和感受到的一切，就像他们在现场亲眼所见到的一样，只不过他们只是待在远离现场的一个神奇装置里而已。

你确实应该为自己的工作感到骄傲。这些心术控制的机器人已经多次证明了其独特的价值，月球基地的大部分工作都是由地球上舒适而安全地躺在这种吊舱内的人类工人完成的。但是由于无线电信号发送到月球大约需要一秒钟，这就意味着这些人类工人必须经过特殊的培训才能适应这一时间延迟现象。

（你大概会想：我们可以用同样的方式把机器人放到火星基地上去。但是，由于把一个信号发送到火星需要20分钟，信号返回又需要20分钟，因此与火星上的机器人沟通太困难，这种方法行不通。唉，无论我们的技术有多么进步，有一件事情你是不能改变的：光速。）

但是，会议中仍然有一个问题让你感到迷惑。

终于，你鼓起勇气打断了老板的讲话。“先生，我实在不愿意这样说，但是看看堤防渗漏的情况，这个裂缝看起来很可能是我们自己的一台机器人造成的。”

房间里立刻充满了人们交头接耳的吵闹声，你能听到他们异口同声地反对你的观点：“我们自己的机器人？不可能。荒谬。这种事情以前从未发生过。”人们抗议道。

然后，你的老板让大家安静下来，表情严肃地说：“我最担心的正是有人会发现这个问题，所以我要说，这件事至关重要，必须严格保密。在我们召开正式新闻发布会之前，这个信息决不能泄露到这个房间之外。没错，渗漏确实是因为我们的一台机器人突然失控造成的。”

会场上一片混乱，人们纷纷摇着头：这怎么可能呢？

“我们的机器人具有相当完美的工作纪录，”老板坚持说，“绝对是完美无瑕，从来没有任何一个机器人造成过任何危害。自动故障安全装置已经反复地证明它的有效性。虽然我们创下的纪录仍然有效，但是你们也知道，我们最新一代的先进机器人使用的是量子计算机，这是目前最强大的计算机，甚至已经接近人类的智能。是的，人类的智能。但是量子理论始终存在出现错误的可能性，虽然其概率十分小，但是确确实实存在。眼下就是一个例子，它终于出问题了。”

你心情沮丧地瘫坐在椅子上，这个消息让你不知所措。



回到家中

这真是非常漫长的一天，会后你立刻组织机器人维修队修复裂缝，然后同其他人一起把所有使用量子计算机的实验机器人停了下来，至少要等到这个问题最终解决之后才能再次使用它们。你终于又回到了家中，只感到筋疲力尽。当你刚刚舒舒服服地坐到沙发上的时候，莫莉又出现在幕墙上：“约翰，布朗博士给你发来了一条重要的短信。”

布朗博士？一个医生机器人又有什么话要说？

“把他移动到屏幕上。”你对莫莉说。你的医生立刻出现在了幕墙上。“布朗博士”看起来非常逼真，有时候你会忘记他只是一个软件程序。

“很抱歉打扰你，约翰，但是有件事我必须提请你的注意。还记得去年那场几乎要了你命的滑雪事故吗？”

你怎么可能忘记呢？那次你在阿尔卑斯山残留的积雪上滑雪，结果一头撞上了一棵大树，每当你想起当时的情景就免不了心惊肉跳。由于阿尔卑斯山上的大部分积雪已经融化，你不得不选择了一个海拔更高的陌生度假地。由于不熟悉那里的地形，你意外滚下山坡，以每小时40英

里（64公里）的时速撞进了一片树林。哎哟！

布朗博士继续说道：“我的记录显示，你当时被撞昏，遭受了脑震荡和严重的内伤，还是你身上的衣服帮你捡回了一条命。”

虽然你当时已经失去知觉，但是你的衣服立刻自动向最近的救护车发出了呼叫并且上传了你的病史，同时还提供了你的精确坐标位置。你被送到医院以后，机器人为你进行了显微手术——止血、缝合微血管破裂，治疗其他损伤。

“你的胃、肝、肠都被损坏，无法修复。”布朗博士提醒你，“幸运的是，我们及时为你生产了一套全新的器官。”

突然间，你觉得自己有点像机器人，身体很多部分都是由器官工厂生产的人工器官所构成。

“你知道，约翰，我的记录还显示，你本来可以把粉碎的手臂更换成全机械臂。最新型机械手臂的力量将比你现在的手臂增加5倍，但是你谢绝了。”

“是的，”你回答，“我想我仍然是个思想传统的家伙。无论如何，我还是认为肉体胜过钢铁制品。”

“约翰，我们必须对你的新器官做定期检查。现在请拿起你的磁共振成像扫描仪，并慢慢地在你的胃部上方移动。”

你走进卫生间，拿起一个手机大小的小装置，开始慢慢地在你的内脏器官上方移动。在幕墙上你立即看到了这些器官的三维发光图像。

“约翰，我们将对这些图像进行分析，看看你身体愈合的情况。顺便说一下，今天上午你浴室的DNA传感器检测出癌细胞在你的胰腺中生长。”

“癌症？”你突然直起腰来，心里感到大惑不解。“我还以为若干年前癌症就已经被根治了，现在甚至都听不到人们谈论它了，我怎么可能得癌症？”

“其实，科学家从来没有真正治愈过癌症，我们不妨说我们与癌症正处于停火和僵持阶段。癌症种类太多，同感冒的情况是一样的。其实，我们也从来没有真正治愈过感冒。我们现在只能控制癌症，不让它继续发展而已。我已经订购了一些杀灭癌细胞的纳米粒子，你体内的癌细胞也只有几百个。这是例行程序，但是如果我们不及时进行干预，你很可能在7年后死于癌症。”他面无表情地说道。

“哦，那我就放心了。”你对自己说。

“是的，今天我们可以在肿瘤形成几年前发现癌症。”布朗博士说。

“肿瘤？那是什么？”

“噢，那是过去对晚期癌症的一种说法，它几乎已经从现代语言中消失了，因为我们现在已经见不到晚期癌症了。”布朗博士补充说。

在经过一整天的高度紧张的工作之后，你突然想起，你竟然忘记了你姐姐威胁说要为你安排一次约会。于是，你再次叫来了莫莉。

“莫莉，下个周末我不准备工作了，你能帮我安排一个约会吗？你知道我喜欢什么样的人。”

“是的，你的喜好都存储在我的记忆里。请稍等，我浏览一下互联网。”一分钟后，莫莉把可能的几个候选人的个人资料现实扩展到了幕墙上，她们也正各自坐在自己的幕墙前，询问着同样的问题。

浏览过候选人的资料后，你最后选择了一个你喜欢的人。这个人叫凯伦，你觉得她多少看起来有些与众不同。“莫莉，给凯伦发一条礼貌的短信，问问她本周末是否有空。有家新餐厅刚开业，我想去试一试。”

莫莉随后用视频邮件给凯伦发去了你的个人资料。

那天晚上，为了放松一下紧张的心情，你把一些同事请来家里喝啤酒并一起观看了一场橄榄球赛。你本来可以让朋友们通过全息图像的方式来到你的客厅里观看比赛，但是同朋友们亲身待在一起观看比赛、为主队欢呼呐喊、共同分享兴奋之情总是更让人感到愉悦。你微笑着想，这大概同几千年前洞穴人必须彼此建立牢固的联系是同一个道理吧。

突然，整个客厅明亮起来，你们好像就在橄榄球比赛场上，正站在50码线上。当四分卫向前传球时，你就站在他的身旁。球赛就在你的周围开始了。

中场休息时，你和朋友们开始评论球员。你们喝着啤酒、吃着爆米花，激烈地辩论着谁的训练最多，谁的练习最刻苦，谁拥有最好的教练，以及谁拥有最好的遗传治疗师。不过，你们都一致认为，你们主队的遗传专家是联赛中最棒的，因此队员们也拥有金钱能买到的最好的基因。

朋友们离开后，你仍然因为心情激动而难以入睡。所以，你决定上床睡觉前快速玩几把扑克牌。

“莫莉，”你问道。“时间不早了，但我想玩一把扑克，我觉得我现在手气不错。不管在英国、中国、印度或者俄罗斯，肯定能找到几个现在也想玩牌的人吧。”

“没问题。”莫莉说。一些可选玩家的面孔出现在屏幕上。当每个牌手的三维图像出现在你的客厅里时，你津津有味地捉摸谁是最善于虚张声势的人。你在心里说，这真有趣，你居然对远在数千英里之外遥远国家的人们比你的隔壁邻居更熟悉。如今国家边界已经没有什么意义了。

最后，正当你终于准备睡觉时，莫莉再次打断你，出现在浴室的镜子上。

“约翰，凯伦接受了你的邀请，周末约会的所有事情都已经安排妥当。我会在那家新餐厅为你们预订位子，你想看看她对自己的长相是如何描述的吗？要不要我到互联网上验证一下她描述的准确性？众所周知……呃……有些人经常撒谎。”

“不用，”你回答说，“我们还是为周末保留一份惊喜。”玩过扑克之后，你再一次感到自己的运气不错。



周末

今天是周末，该去逛逛街，给凯文买一件礼物。“莫莉，把购物商场放到屏幕上。”

商场立刻出现在幕墙上。你挥动手臂和手指，幕墙上的图像带你穿行在商场之中。这次虚拟之旅最后把你带到了一家玩具店的图像前。是的，他们正好有你想要的玩具机器人宠物。然后，你通过心灵感应命令轿车把你送往商场。〔你也可以在网上订购，或者让他们把设计蓝图通过电子邮件发给你，然后让你的装配实物机（fabricator　materialize，暂译名）使用可编程物质在家里把它制造出来。但是，偶尔走出公寓亲自去商场购物，这总是好的。〕

你坐在磁性轿车里向外望去，看见人们正在散步。这是如此美好的一天。你还看到了各种各样的机器人：遛狗的机器人、机器人文员、机器人厨师、机器人接待员和机器人宠物。看来，凡是世界上危险的、重复性的或只要求最简单的人机交流的任务，现在都已经由机器人来完成。事实上，如今机器人产业已经变得非常庞大。在你身边随处可见各种广告，招聘维修、服务、升级或制造机器人的技师。凡是从事机器人行业的人都拥有一片光明的未来，机器人产业比上世纪的汽车产业规模更大。你意识到，其实绝大多数的机器人是人们平时看不到的，它们默默无闻地修复城市基础设施和为我们提供基本服务。

当你来到玩具店后，一名机器人店员在门口迎接你。“需要帮忙吗？”他问道。

“是的，我想买一个机器人狗。”

你仔细看过最新款的机器人狗后，不禁惊叹这些机器人宠物居然能够做那么多的事情。它们可以玩耍、小跑、取东西，一只真正的狗能干的任何事情它们都干。除了不会在你的地毯上撒尿，它们简直无所不能。你想，也许这就是为什么父母都愿意给孩子们买机器人宠物的原因。

随后，你对机器人店员说：“我要给6岁的侄子买一个机器人宠物。他非常聪明，属于动手类型的孩子。但他有时也害羞和不爱说话，什么样的狗可以帮助他变得更活跃一些呢？”

机器人回答说：“我很抱歉，先生，这个问题超出了我的编程范围。也许，我可以给你介绍一下好玩的空间玩具？”

你刚才忘了一点：无论机器人如何多才多艺，要让它们理解人类的行为还有相当漫长的路要走。

然后你去了男人百货商店。要想给约会对方留下一个好印象，你就必须换掉这一身破旧的衣服。你试了试一些品牌西装，虽然它们看上去都很时髦，但是尺码不对，你感到很失望。于是，你拿出信用卡，其中准确记录着你的三维身体数据。你的数据很快被输入了计算机，附近的一家工厂立刻开始为你剪裁一套崭新的西装，不仅很快就会直接送到你的家门口，而且每次都完全合身。

最后，你去了超市。在那里，你把隐藏在每个塑料标签之中的芯片扫描一遍，然后在你的隐形眼镜上比较它们的价格，看看这个城市里哪家商店的产品最便宜、最优质。你根本不用盲目猜测谁的价格最低。



约会

整整一周，你都在期盼这次约会。准备和凯伦会面让你好像又变成了一个小男生，这让你感到惊讶。你如果想在晚饭后邀请她去你的公寓，你就不得不对家里破旧的家具进行一次认真的翻修。幸运的是，厨房柜台和客厅里的大多数家具都是用可编程物质制造的。

“莫莉，”你说，“你能给我看看制造商提供的新式厨房柜台和家具的目录吗？我想把这些家具重新编程翻新，它们看起来太破旧了。”

很快，最新的家具设计图开始在屏幕上闪烁。

“莫莉，请下载这个厨房柜台、那个沙发和这张桌子的设计图，然后把它们输入制造程序。”

当你继续为约会做准备的时候，莫莉下载并输入了设计图。转眼之间，厨房柜台的台面、客厅沙发和桌子开始溶解，变成一堆类似油灰的东西，然后又逐渐重新成形。不到一个小时，你的公寓已经焕然一新。（最近，你一直在网上浏览房地产信息，并且注意到由可编程物质建造的房屋已变得颇为时髦。实际上，你找的那家工程公司就正在实施一个雄心勃勃的计划，准备完全使用可编程物质在沙漠上建设起一座新的城市。到时候只需按下一个按钮，噗！一个城市便瞬间出现在你的面前。）

但是，你认为你的公寓看起来仍然有些单调。你挥挥手，墙纸的图案和颜色立即发生了变化。你对自己说，拥有智能墙纸确实比重新粉刷墙壁好得多。

你在去约会的路上顺便买好了鲜花，终于见到了你约会的对象。她让你感到喜出望外——你们简直是一拍即合。你感到了春心的萌动。

晚餐时，你发现凯伦是一位艺术家。她开玩笑说，通常情况下她可能身无分文、饥肠辘辘，为了微薄的收入拿着自己的画作沿街叫卖。其实相反，她是一个非常成功的网页设计师。事实上，她拥有自己的公司。现在看来，似乎每个人都需要最新的网络设计，人们对创意艺术的需求十分巨大。

她用手指在空中画了一些圆圈，她创作的一些动画作品立刻出现在空无一物的空中。“这是我最新的部分作品。”她自豪地说。

你评论道：“你知道，作为一名工程师，我整天都与机器人打交道。有些机器人虽然很先进，但是它们的行为有时也会很愚蠢。你的领域呢？机器人也入侵到创意产业了吗？”

“这绝不可能。”她回答道。凯伦说，她只和具有创造力的人一起工作，这个领域里最有价值的商品是想象力，就算是最先进的机器人也缺乏想象力。

“我可能有点守旧，但是在我的领域里，我们仅也只是用机器人做复印或一些事务性的工作。”她自豪地说，“我期待有一天，机器人可以做出一些真正原创的事情，比如讲一个笑话，写一本小说，或者创作一部交响曲。”

你暗暗想：现在还不是时候，但是将来或许会成为现实。

听她说话时，你又想到了另一个问题：她有多大？由于几年前我们就成功地通过医学手段延缓了人类衰老的进程，你面前的人可处于任何年龄段。她的个人网站并没有说明她的年龄，但是她看上去不会超过25岁。

送她回家后，你开始无所事事地胡思乱想。和她这样的人生活在一起会是什么样子？你要同她一起度过你的余生吗？但是，有一件事情一直困扰着你，它已经困扰你一整天了。

你面对幕墙说：“莫莉，请帮我拨通布朗博士的电话。”机器人医生每天24小时随时提供上门服务，而且从来毫无怨言，因为他们的程序中根本就没有这个内容，一想到此，你心中油然升起一股感激之情。

布朗博士的形象立刻出现在了幕墙上。“有什么事困扰着你，孩子？”他用父亲的口吻问道。

“医生，我必须问你一个问题，这件事最近一直困扰着我。”

“好的，那是什么事呢？”布朗博士问。

“医生，”你问道，“你觉得我能活多久？”

“你的意思是你的寿命有多长？嗯，我们真的不知道。你的记录显示你现在72岁，但是从生物学角度上讲，你的器官更像是30岁的人，因为你是为延长寿命而对遗传基因进行重新编程的第一代人群中的一员。你选择的是在30岁左右停止老化。到目前为止，你们这一代人死亡的还很少，所以我们还没有可供分析的统计数据，因此无从知道你会活多久。”

“那么你认为我会永远活下去吗？”你问道。

“成为不朽之躯吗？”布朗博士皱起了眉头。“不，我想不会。长生不死与尚未确定的长寿寿命，完全是两个不同的概念。”

“但如果我不再衰老，”你说，“那么我怎么知道什么时候该……”你的话说到一半又停顿了一下。“啊，好吧……你看，我刚刚认识了一个女孩。啊，一个很特别的女孩。假如我想要把我同她的生活做一个规划，我该如何调整自己人生的各个阶段，使我与她的生命相适应呢？如果我这一代人还没有活到该死的时候，”你继续说道，“那么我又怎么知道什么时候该结婚、生子和计划退休后的生活呢？你知道的，就是我应该如何确定我生命中的各个里程碑？”

“我不知道这个问题的答案。你看，人类目前在某种程度上就像是试验用的小白鼠。”布朗博士说，“对不起，约翰，你现在正处在一个未知的水域中。”



以后的几个月

接下来的几个月里，你和凯伦都经历了许多美妙的惊喜。你带她到虚拟现实娱乐室里，尝试了一种既荒诞又虚幻的生活，获得了极大的乐趣，就好像又回到了孩提时代一般。你们进入一个空荡荡的房间里，一个虚拟世界的软件通过一束光传送到你们的隐形眼镜里，变幻莫测的景象便立刻出现在你们眼前。在一个程序中，你们被恐龙追逐得四处奔逃，但是无论你们跑到哪里，丛林中都会有另一种恐龙跳出来。在另一个程序中，你们不是同外星人开战就是同企图登船的海盗搏斗。在又一个程序中，你们决定改变自己的物种，变成了两只老鹰，一起在蓝天中翱翔。而在别的程序中，你们正沐浴在浪漫的南海岛屿上的温暖阳光里，或者在月光下随着飘浮在空中的轻柔的乐曲声翩翩起舞。

一段时间之后，你和凯伦又想尝试新的东西。你们决定要过一种真实的生活，而不再生活在虚构的现实当中。所以，当你们俩可以同时休假的时候，你们决定去欧洲进行一次旋风般的旅游。

你对着幕墙说："莫莉，凯伦和我计划去欧洲休假，来一次真实的旅行。请查询一下飞机航班、酒店和所有具有特色的东西，然后列出我们估计会感兴趣的演出或大型活动。你知道我们的品位。"几分钟后，莫莉准备好了一份详细的行程。

后来，当你们在罗马广场的遗迹中穿行的时候，罗马帝国的景象同时在你们的隐形眼镜上复活了；你们从散布在遗址中残存的罗马柱、石块和瓦砾旁走过，看到了当年鼎盛时期罗马帝国的繁荣和强大。

购物也是一件令人愉悦的事情，就连在意大利当地商店里讨价还价也其乐无穷。同当地人交流时，你会在眼镜下方看到对方的话被同步翻译成了英文，你已经不再需要旅游指南和不便查找的地图，你所需要的一切都在隐形眼镜里。

入夜后，你们仰望着罗马的星空，通过隐形眼镜清晰地看到了镶嵌在星座中的星星。目光划过天空，你们可以看到土星环、飞行的彗星、美丽的气体云以及爆炸的恒星的放大图像。

一天，凯伦终于揭晓了一个秘密——她的真实年龄。她今年61岁。不知为什么，这似乎对你已经不重要了。

"凯伦，我们现在能活这么长的时间，你是不是感到更快乐？"

“是的，当然！”她立刻回答。“你知道，在我祖母那个时代，女人一生就是结婚和组建家庭，或许再不辞辛劳地从事一种职业。但是，比起她们来我现在已经相当于三次转世，我从事过三种职业，而且从来没有后悔过。第一个职业是导游，到过不少国家，可谓周游世界。旅游业是一个非常庞大的产业，给人们提供了许多就业的机会。但是，后来我又想从事一种更有特色的职业，于是就成了一名律师，为我看重的案件和人辩护。再后来，我又决定发挥一下我在艺术方面的才能，所以开办了一家自己的网页设计公司。你知道吗，我可以自豪地告诉你，无论我干哪一行都从来没有使用过机器人。机器人当不了私人导游，也不可能在法庭上打赢一场官司，更不可能创造出美妙的艺术作品。”

你心里却对自己说：走着瞧吧。

“那么，你现在是不是又在计划从事第四种职业了？”你问。

“嗯，也许吧。要是我哪天又发现了一种更好的工作的话。”她对你微笑道。

“凯伦，”你终于说道，“如果我们不再衰老，那么你怎么知道何时是……嗯，你知道……结婚、生子以及抚养家庭的最佳时机？所谓‘生物钟’数十年前就已经不复存在了，所以我一直在想，现在也许是我们安定下来组建一个家庭的时候了。”

“你的意思是说生孩子吗？”凯伦有些惊讶地说，“我还没有认真考虑过这个问题。嗯，也就是说到现在为止还没有考虑过生孩子，这一切都要取决于我是不是能碰到一个合适的男人。”她说着顽皮地冲你微笑起来。

接下来，你和凯伦讨论了结婚的时间、给孩子取什么名字，以及为孩子选择什么样的基因等各种问题。

你走到幕墙前说：“莫莉，你能给我政府已经批准的最新基因名单吗？”你认真浏览了一遍基因名单，看到了目前可以提供的各种基因的特点：不同颜色的头发和眼睛，不同的身高和体态，名单中甚至还提供了一些可以提供不同性格特征的基因。这份名单的内容看来每年都在不断增加。你还看到了一长串可以治愈的遗传疾病的名字。虽然囊性纤维化病在你的家族里已经传播了数百年，但是现在你已经不用担心这个问题了。

浏览这份政府批准的基因名单，不仅让你感到了自己是一个未来的父亲，而且也感到自己就像是一个神，你可以按照你喜好的形象定制并创造出一个孩子。

这时莫莉说：“有一个程序可以分析婴儿的DNA，然后对他未来的面容、体形和个性进行合理的估计。你想不想下载这个程序，看看你的孩子将会是什么样子？”

“不想，”你说，“有些事情还是保留一点悬念好。”



一年后

太空电梯现在已经完全对游客开放了，凯伦也已经怀孕了，但她的医生向她保证说，乘坐太空电梯不会有危险。

“你知道，”你向凯伦承认说，“当我还是个小孩的时候，我一直想到外太空去看看。你知道，我那时就想当一个宇航员。但是有一天，我突然想到了一个问题：坐在几百万加仑的挥发性火箭燃料上方，一个小小的火花就可能引起爆炸。从那以后，我对太空旅行的热情就降温了。不过太空电梯不一样，清洁、安全，不会搞得一团糟。这才是去外空最理想的方式。”

你和凯伦走进太空电梯后，你看到操作员按下了一个看起来像是“上行”的按钮。你原以为会换上太空服，结果你突然发现自己开始飞向外太空。当你在空中迅速上升时，还能清楚地感受到电梯在逐步加速，电梯里的高度仪显示：“10英里，20英里，30英里……”

电梯外，你看到的景色每秒钟都在发生变化。片刻之间，你已进入高空，蓬松的云彩从你眼前飞驰而过。紧接着，天空从蓝色变成紫色再变成深黑色，最后你看到了四周色彩斑斓的无数恒星。你开始辨认出各个星座，而这是你首次从一个全新的角度看到它们，它们在遥远的宇宙中熠熠生辉。现在所有的星星同你在地球上看到的情景完全不同，它们都不再“眨眼睛”，而是持续发出明亮的光芒，其实数十亿年以来它们一直就是这个样子。

电梯终于慢慢地停了下来，这里离地球表面大约100英里（161公里）。置身太空之中，你终于看到了之前只能在图片中见到的令人眼花缭乱的景象。

向下看去，你发现我们的地球突然之间已经变得面貌一新：你看到了海洋、大陆和映照到外太空的特大城市的灯光。

从太空看，地球显得如此安详，很难相信人们曾经在那里为荒唐的边界问题进行过无数次的流血战争。国家虽然依然存在，但在瞬时通讯覆盖全球每一个角落的时代里，国家的概念已经显得那么离奇古怪和不着边际。

凯伦把她头倚靠在你的肩膀上，你开始意识到你正在目睹一种崭新的行星文明的诞生，你的孩子将成为这种新文明的第一批公民。

随后，你从裤子后面的口袋里拿出一本破旧、磨损的书，把100多年前去世的一位作家写下的话读给她听。这让你想起了人类在获得行星文明之前曾经面临的挑战。

圣雄·甘地这样写道：

暴力的根源

积累财富而不付出劳动，
追求享乐而不关心他人，
拥有知识而没有品德，
经商而不讲道德，
研究科学而不讲人性，
膜拜神灵而不作奉献，
搞政治而不讲原则。

致谢

我想感谢那些孜孜不倦地工作，使这本书能够成功出版的人。我要感谢我的编辑罗杰·绍尔（Roger Scholl），我以前的很多书都是在他的指引下完成的，还有他提出了要完成这样一本富有挑战性兴趣的书的想法，也要感谢爱德华·卡斯滕迈耶（Edward Kastenmeier），耐心地提出无数的建议和修改，大大加强了此书所介绍的内容。我还要感谢司徒·克里切夫斯基（Stuart Krichevsky），这么多年，他一直鼓励我接受新的和更令人兴奋的挑战。

当然，我要感谢我采访过的和讨论过有关科学问题的300多位科学家。我常常带着英国广播公司（BBC）电视台、发现频道和科学频道的电视摄制组到他们的实验室中，并把麦克风和电视摄像机放在他们的面前，为此而感到抱歉。这有可能打乱他们的研究，但我希望最终的产品是值得的。

我要感谢这些先驱者和开拓者：

埃里克·奇维安（Eric Chivian），诺贝尔奖获得者，哈佛医学院健康与全球环境中心

皮特·多赫蒂（Peter Doherty），诺贝尔奖获得者，圣犹大儿童研究医院

杰拉尔德·埃德尔曼（Gerald Edelman），诺贝尔奖获得者，斯克里普斯研究所

穆雷·盖尔曼（Murray Gell-Mann），诺贝尔奖获得者，圣菲研究所和加州理工学院

沃尔特·吉尔伯特（Walter Gilbert），诺贝尔奖获得者，哈佛大学

戴维·格罗斯（David Gross），诺贝尔奖获得者，科维理理论物理研究所

亨利·肯德尔（Henry Kendall），诺贝尔奖获得者，已故，麻省理工学院（MIT）

利昂·莱德曼（Leon Lederman），诺贝尔奖获得者，伊利诺伊理工大学

南部阳一郎（Yoichiro Nambu），诺贝尔奖获得者，芝加哥大学

亨利·波拉克（Henry Pollack），诺贝尔奖获得者，密歇根大学

约瑟夫·罗特布拉特（Joseph Rotblat），诺贝尔奖获得者，圣巴塞洛缪医院

史蒂芬·温伯格（Steven Weinberg），诺贝尔奖获得者，奥斯汀大学

弗兰克·维尔切克（Frank Wilczek），诺贝尔奖获得者，麻省理工学院

阿米尔·阿克塞尔（Amir Aczel），《铀的战争》（*Uranium Wars*）的作者

巴兹·奥尔德林（Buzz Aldrin），前美国宇航局宇航员，在月球上行走的第二个人

杰夫·安德森（Geoff Andersen），空军研究学院，《望远镜》（*The Telescope*）的作者

杰伊·巴伯利（Jay Barbree），美国全国广播公司（NBC）新闻通讯记者，《登月》（*Moon Shot*）的合著者

约翰·巴罗（John Barrow），物理学家，剑桥大学，《不可能之事》（*Impossibility*）的作者

玛西娅·巴图西亚克（Marcia Bartusiak），《爱因斯坦未完成的交响曲》（*Einstein's Unfinished Symphony*）的作者

吉姆·贝尔（Jim Bell），康奈尔大学天文学教授

杰弗里·贝内特（Jeffrey Bennet）《超越不明飞行物》（*Beyond UFOs*）的作者

鲍勃·伯曼（Bob Berman），天文学家，《夜空的秘密》（*Secrets of the Night Sky*）的作者

莱斯利·比泽克（Leslie Biesecker），国立卫生研究院遗传病研究分部主任

皮尔斯·比佐尼（Piers Bizony），科普作家，《如何构建你自己的飞船》（*How to Build Your Own Spaceship*）的作者

迈克尔·布莱泽（Michael Blaese），前国立卫生研究院科学家

亚历克斯·伯泽（Alex Boese），愚人（Hoaxes）博物馆创始人

尼克·博斯特伦（Nick Bostrom），牛津大学超人学家

罗伯特·鲍曼（Robert Bowman），中校，空间和安全研究所

劳伦斯·布罗迪（Lawrence Brody），基因组技术科负责人，美国国立卫生研究院

罗德尼·布鲁克斯（Rodney Brooks），麻省理工学院人工智能实验室前主任

莱斯特·布朗（Lester Brown），地球政策研究所创始人

迈克尔·布朗（Michael Brown），加州理工学院天文学教授

詹姆斯·坎顿（James Canton），全球未来研究所创始人，《终极未来》（*The Extreme Future*）的作者

亚瑟·卡普兰（Arthur Caplan），美国宾夕法尼亚大学生物伦理学中心主任

弗里乔夫·卡普拉（Fritjof Capra），《达·芬奇的科学》（*The Science of Leonardo*）的作者

肖恩·卡罗尔（Sean Carroll），宇宙学家，加州理工学院

安德鲁·蔡金（Andrew Chaikin），《在月球上的人》（*A Man on the Moon*）的作者

洛里·齐奥（Leroy Chiao），前美国宇航局宇航员

乔治·丘奇（George Church），哈佛医学院计算遗传学中心主任

托马斯·科克伦（Thomas Cochran），自然资源保护委员会物理学家

克里斯托弗·乔基诺斯（Christopher Cokinos），科普作家，《坠落的天空》（*The Fallen Sky*）的作者

弗朗西斯·柯林斯（Francis Collins），国立卫生研究院主任

维基·科尔文（Vicki Colvin），莱斯大学生物和环境纳米技术主任

尼尔·科明斯（Neil Comins），《太空之旅的危险》（*The Hazards of Space Travel*）的作者

史蒂夫·库克（Steve Cook），空间技术和高级工程研究与开发（Dynetics）主任，前美国宇航局发言人

克里斯蒂娜·卡斯格拉夫（Christine Cosgrove），《不惜代价调整

身高》（*Normal at Any Cost*）的作者

史蒂夫·库森（Steve Cousins），总裁兼首席执行官，柳树车库（Willow Garage）

布莱恩·考克斯（Brian Cox），英国曼彻斯特大学物理学家，英国广播公司科学节目主持人

菲利浦·科伊尔（Phillip Coyle），美国国防部前防务助理秘书

丹尼尔·克里维尔（Daniel Crevier），《人工智能：探求人工智能的动荡历史》（*The Tumultuous History of the Search for Artificial Intelligence*）的作者，加拿大Coreco公司首席执行官

肯·克罗斯韦尔（Ken Croswell），天文学家，《宏伟宇宙》（*Magnificent Universe*）的作者

史蒂芬·坎默（Steven Cummer），杜克大学，计算机科学

马克·库特科斯基（Mark Cutkosky），斯坦福大学，机械工程

保罗·戴维斯（Paul Davies），物理学家，《超力》（*Superforce*）的作者

奥布里·德·格雷（Aubrey de Gray），加州微衰工程战略（SENS）基金会首席科学官员

迈克尔·德图佐斯（Michael Dertouzos），已故，麻省理工学院计算机科学实验室前主任

贾德·戴蒙德（Jared Diamond），普利策奖得主，加州大学洛杉矶分校地理学教授

马里埃特·迪克里斯蒂娜（Mariette DiChristina），《科学美国人》（*Scientific American*）主编

彼得·迪尔沃思（Peter Dilworth），前麻省理工学院人工智能实验室的科学家

约翰·多诺霍（John Donoghue），《脑机接口》（*BrainGate*）的创造者，布朗大学

安·德鲁彦（Ann Druyan），卡尔·萨根的遗孀，宇宙工作室

弗里曼·戴森（Freeman Dyson），普林斯顿高等研究所名誉物理学教授

乔纳森·埃利斯（Jonathan Ellis），欧洲核子研究中心物理学家

丹尼尔·费尔班克斯（Daniel Fairbanks），《伊甸园的遗踪》（*Relics of Eden*）的作者

蒂莫西·费里斯（Timothy Ferris），加州大学伯克利分校名誉教授，《银河系时代的到来》（*Coming of Age in the Milky Way*）的作者

玛丽亚·菲尼特佐（Maria Finitzo），制片人，皮博迪奖得主，测绘干细胞研究

罗伯特·芬克尔斯坦（Robert Finkelstein），人工智能专家

克里斯托弗·弗莱文（Christopher Flavin），世界观察研究所

路易斯·弗里德曼（Louis Friedman），行星协会的创始人之一

詹姆斯·加尔文（James Garvin），美国国家航空航天局戈达德太空飞行中心，前美国航空航天局首席科学家

埃瓦林·盖茨（Evalyn Gates），《爱因斯坦的望远镜》（*Einstein's Telescope*）的作者

托马斯·格雷厄姆（Thomas Graham），大使，间谍卫星专家

杰克·盖革（Jack Geiger），医生的社会责任杂志创始人之一

大卫·格勒恩特尔（David Gelernter），耶鲁大学计算机科学教授

尼尔·格申菲尔德（Neil Gershenfeld），麻省理工学院，比特和原子中心主任

保罗·吉尔斯特（Paul Gilster），《半人马座之梦》（*Centauri Dreams*）的作者

丽贝卡·戈尔德堡（Rebecca Goldburg），前环境防卫基金会的资深科学家，海洋科学和皮尤慈善信托基金主任

唐·戈德史密斯（Don Goldsmith），天文学家，《失控的宇宙》（*The Runaway Universe*）的作者

赛斯·戈尔茨坦（Seth Goldstein），卡内基梅隆大学计算机科学教授

大卫·古德斯坦（David Goodstein），物理学教授，前加州理工学院助理教务长

J.理查德·戈特三世（J.Richard Gott III），普林斯顿大学天体物理科学教授，《在爱因斯坦宇宙中的时间旅行》（*Time Travel in Einstein's Universe*）的作者

斯蒂芬·杰伊·古尔德（Stephen Jay Gould），哈佛大学亮桥（Lightbridge）公司已故生物学家

约翰·格兰特（John Grant），《被破坏的科学》（*Corrupted Science*）的作者

埃里克·格林（Eric Green），国家人类基因组研究所，国立卫生研究院主任

罗纳德·格林（Ronald Green），《设计婴儿》（*Babies by Design*）的作者

布赖恩·格林（Brian Greene），美国哥伦比亚大学数学和物理学教授，《优雅的宇宙》（*The Elegant Universe*）的作者

艾伦·古思（Alan Guth），麻省理工学院物理学教授，《膨胀宇宙》（*The Inflationary Universe*）的作者

威廉·汉森（William Hanson），《医学前沿》（*The Edge of Medicine*）的作者

伦纳德·海弗利克（Leonard Hayflick），美国加州大学旧金山医学院解剖学教授

唐纳德·希勒布兰德（Donald Hillebrand），阿贡国家实验室交通研究中心主任

弗兰克·冯·希普尔（Frank von Hipple），普林斯顿大学物理学家

杰弗里·霍夫曼（Jeffrey Hoffman），前美国宇航局宇航员，麻省理工学院航空航天大学教授

道格拉斯·霍夫斯塔特（Douglas Hofstadter），普利策奖得主，《戈德尔，埃舍尔，巴赫》（*Gödel*，*Escher*，*Bach*）的作者

约翰·霍根（John Horgan），史蒂文斯理工学院，《科学的终结》（*The End of Science*）的作者

杰米·海尼曼（Jamie Hyneman），“流言终结者”（MythBusters）节目主持人

克里斯·安佩（Chris Impey），亚利桑那大学的天文学教授，《现存宇宙》（*The living Cosmos*）的作者

罗伯特·伊列（Robert Irie），前麻省理工学院人工智能实验室，马萨诸塞州总医院的科学家

P.J.雅各博维茨（P.J.Jacobowitz），PC杂志

杰伊·雅罗斯拉夫（Jay Jaroslav），麻省理工学院人工智能实验室的前科学家

唐纳德·约翰森（Donald Johanson），古人类学家，露西（Lucy）的发现者

乔治·约翰逊（George Johnson），《纽约时报》科学记者

汤姆·琼斯（Tom Jones），前美国宇航局宇航员

史蒂夫·凯茨（Steve Kates），天文学家和电台节目主持人

杰克·凯斯勒（Jack Kessler），神经病学教授，美国西北大学范伯格神经科学研究所所长

罗伯特·基尔希纳（Robert Kirshner），哈佛大学天文学家

克里斯·科尼格（Kris Koenig），导演和天文学家

劳伦斯·克劳斯（Lawrence Krauss），美国亚利桑那州立大学，《星际迷航物理学》（*The Physics of Star Trek*）的作者

罗伯特·劳伦斯·库恩（Robert Lawrence Kuhn），电影摄制者和哲学家，美国公共广播电视公司（PBS）电视连续剧《接近真理》（*Closer to Truth*）摄制者

雷·库兹威尔（Ray Kurzweil），发明家，《灵魂机器的时代》（*The Age of Spiritual Machines*）的作者

罗伯特·兰札（Robert Lanza），生物技术，高级细胞技术公司

罗杰·劳纽斯（Roger Launius），《空间机器人》（*Robots in Space*）的合著者之一

斯坦·李（Stan Lee），《奇迹滑稽演员和蜘蛛侠》的创造者

迈克尔·莱蒙尼克（Michael Lemonick），前高级科学编辑，《时代》杂志，气候中心

亚瑟·勒纳（Arthur Lerner），地质学家，火山学者，哥伦比亚大学

西蒙·莱沃伊（Simon LeVay），《科学出错时》（*When Science*

Goes Wrong）的作者

约翰·刘易斯（John Lewis），美国亚利桑那大学天文学家

阿兰·莱特曼（Alan Lightman），麻省理工学院，《爱因斯坦的梦》（*Einstein's Dreams*）的作者

乔治·莱恩汉（George Linehan），《太空船一号》（*SpaceShipOne*）的作者

赛斯·劳埃德（Seth Lloyd），麻省理工学院，《设计宇宙》（*Programming the Universe*）的作者

约瑟夫·林肯（Joseph Lykken），费米国立加速器实验室物理学家

罗伯特·曼（Robert Mann），《法医侦探》（*Forensic Detective*）的作者

迈克尔·保罗·梅森（Michael Paul Mason），《主要案例》（*Head Cases*）的作者

W.帕特里克·麦克雷（W.Patrick McCray），《持续观望天空》（*Keep Watching the Skies*）的作者

格伦·麦吉（Glenn McGee），《完美的婴儿》（*The Perfect Baby*）的作者

詹姆斯·麦克勒金（James McLurkin），前麻省理工学院人工智能实验室和莱斯大学科学家

保罗·麦克米兰（Paul McMillan），亚利桑那大学瞭望天空（Spacewatch）实验室主任

帕蒂·梅斯（Pattie Maes），麻省理工学院媒体实验室

富尔维奥·米利亚（Fulvio Melia），美国亚利桑那大学物理学和天文学教授

威廉·梅勒（William Meller），《利用人体内能获得健康和恢复的进展》（*Evolution Rx*）的作者

保罗·梅尔策（Paul Meltzer），国立卫生研究院

马文·明斯基（Marvin Minsky），麻省理工学院，《精神社会》（*The Society of Mind*）的作者

汉斯·莫拉维克（Hans Moravec），卡内基梅隆大学的研究教授，

《机器人》（*Robot*）的作者

菲利普·莫里森（Phillip Morrison），麻省理工学院已故物理学家

理查德·穆勒（Richard Muller），加州大学伯克利分校天体物理学家

大卫·纳哈姆（David Nahamoo），以前与IBM一起研究人类语言技术

克里斯蒂娜·尼尔（Christina Neal），美国地质调查局阿拉斯加火山观测站，火山学者

迈克尔·诺瓦切克（Michael Novacek），美国自然历史博物馆哺乳动物化石馆馆长

迈克尔·奥本海默（Michael Oppenheimer），普林斯顿大学环保学家

迪安·欧尼斯（Dean Ornish），美国加州旧金山大学医学临床教授

彼得·帕莱塞（Peter Palese），西奈山医学院微生物学教授

查尔斯·佩尔兰（Charles Pellerin），前美国国家航空航天局官员

西德尼·佩尔科维茨（Sidney Perkowitz），埃默里大学物理学教授，《好莱坞的科学》（*Hollywood Science*）的作者

约翰·派克（John Pike），全球安全网站（GlobalSecurity.org）主管

耶拿·平科特（Jena Pincott），《绅士们真的偏爱金发女人吗？》（*Do Gentlemen Really Prefer Blondes*？）的作者

托马索·波焦（Tomaso Poggio），麻省理工学院人工智能实验室

科里·鲍威尔（Correy Powell），《发现杂志》（*Discover Magazine*）主编

约翰·鲍威尔（John Powell），美国JP航空航天公司创始人

理查德·普雷斯顿（Richard Preston），《热点区域》（*The Hot Zone*）和《冷冻装置中的恶魔》（*The Demon in the Freezer*）的作者

拉曼·普里尼亚（Raman Prinja），英国伦敦大学学院天体物理学教授

大卫·夸曼（David　Quammen），科普作家，《不情愿的达尔文先生》（*The Reluctant Mr.Darwin*）的作者

凯瑟琳·拉姆斯兰（Katherine Ramsland），法医科学家

丽莎·兰德尔（Lisa　Randall），哈佛大学理论物理学教授，《弯曲的通路》（*Warped Passages*）的作者

马丁·里斯（Martin　Rees）爵士，英国剑桥大学宇宙学和天体物理学教授，《创世之前》（*Before the Beginning*）的作者

简·里斯勒（Jane Rissler），有关的科学家联盟

史蒂文·罗森伯格（Steven　Rosenberg），国家癌症研究所，国立卫生研究院

杰里米·里夫金（Jeremy Rifkin），经济趋势基金会创始人

大卫·里基耶（David Riquier），企业外联主任，麻省理工学院媒体实验室

保罗·萨福（Paul　Saffo），未来学家，原在未来研究所，斯坦福大学顾问教授

卡尔·萨根（Carl　Sagan），已故，康奈尔大学，《宇宙》（*Cosmos*）的作者

尼克·萨冈（Nick　Sagan），《这就是你说的未来吗？》（*You Call This the Future*？）的作者

迈克尔·萨拉蒙（Michael　Salamon），美国宇航局的超越爱因斯坦计划

亚当·萨维奇（Adam　Savage），“流言终结者”（MythBusters）节目主持人

彼得·舒瓦茨（Peter　Schwartz），未来学家，全球商业网络的创始人之一，《长远观察》（*The Long View*）的作者

迈克尔·舍默（Michael　Shermer），怀疑论者协会和怀疑论者杂志的创始人

唐娜·雪莉（Donna　Shirley），美国国家航空航天局火星探测计划前任经理

赛斯·肖斯塔克（Seth Shostak），搜寻地外文明（SETI）研究所

尼尔·舒宾（Neil Shubin），芝加哥大学有机体生物学和解剖学教授，《你内在的鱼》（*Your Inner Fish*）的作者

保罗·舒奇（Paul Shuch），搜寻地外文明（SETI）联盟名誉执行董事

彼得·辛格（Peter Singer），布鲁金斯研究所，《为战争做好准备》（*Wired for War*）的作者

西蒙·辛格（Simon Singh），《大爆炸》（*Big Bang*）的作者

加里·斯莫尔（Gary Small），《网络大脑》（*iBrain*）的合著者之一

保罗·斯普迪斯（Paul Spudis），美国宇航局空间科学办公室太阳能系统事业部行星地质学计划

史蒂文·斯奎尔斯（Steven Squyres），康奈尔大学天文学教授

保罗·斯坦哈特（Paul Steinhardt），普林斯顿大学物理学教授，《无尽宇宙》（*Endless Universe*）的合著者

格雷戈里·斯塔克（Gregory Stock），加州大学洛杉矶分校，《重新设计人类》（*Redesigning Humans*）的作者

理查德·斯通（Richard Stone），《对地球最后的强烈冲击》（*The Last Great Impact on Earth*）的作者，《发现杂志》

布赖恩·沙利文（Brian Sullivan），以前在海登天文馆工作

莱昂纳德·萨斯坎德（Leonard Susskind），斯坦福大学物理学教授

丹尼尔·塔梅特（Daniel Tammet），与外界隔离的学者，《出生在天蓝蓝的日子》（*Born on a Blue Day*）的作者

杰弗里·泰勒（Geoffrey Taylor），墨尔本大学物理学家

泰德·泰勒（Ted Taylor），已故，美国核弹头的设计师

马克斯·特格马克（Max Tegmark），麻省理工学院物理学家

阿尔文·托夫勒（Alvin Toffler），《第三次浪潮》（*The Third Wave*）的作者

帕特里克·塔克（Patrick Tucker），世界未来学会

斯坦斯菲尔德· M.特纳（Stansfield M.Turner），海军上将，中央情

报局局长

克里斯·特尼（Chris Turney），英国埃克塞特大学，《冰、泥和血》（*Ice，Mud and Blood*）的作者

尼尔·德格拉瑟·泰森（Neil deGrasse Tyson），海登天文馆馆长

塞什·韦拉莫尔（Sesh Velamoor），为未来奠定基础

罗伯特·华莱士（Robert Wallace），中情局技术服务办公室前主任，《间谍技术》（*Spycraft*）的合著者

凯文·沃里克（Kevin Warwick），英国雷丁大学，人性化的半机器人

弗雷德·沃森（Fred Watson），天文学家，《占星师》（*Stargazer*）的作者

马克·维瑟（Mark Weiser），已故，施乐公司帕洛·阿尔托研究中心

艾伦·魏斯曼（Alan Weisman）《没有我们的世界》（*The World Without Us*）的作者

丹尼尔·沃西默（Daniel Werthimer），在家搜寻地外文明（SETI），加州大学伯克利分校

迈克·韦斯勒（Mike Wessler），前麻省理工学院人工智能实验室科学家

亚瑟·威金斯（Arthur Wiggins），《物理学的喜悦》（*The Joy of Physics*）的作者

安东尼·温肖·鲍里斯（Anthony Wynshaw-Boris），国立卫生研究院

卡尔·齐默尔（Carl Zimmer），科普作家，《进化》（*Evolution*）的作者

罗伯特·齐默尔曼（Robert Zimmerman），《离开地球》（*Leaving Earth*）的作者

罗伯特·祖布林（Robert Zubrin），火星协会创始人

Table of Contents

总目录
加来道雄宇宙三部曲
总目录
超弦论
书名页
版权页
目录
致谢
引言
第一部分 宇宙理论
1 超弦：万物理论
2 寻求统一
3 量子谜题
4 无穷大之谜
5 寻找顶夸克
第二部分 超对称和超弦
6 超弦理论的诞生
7 对称性：缺失的一个环节
8 超对称
第三部分 超出四维
9 大爆炸之前
10 暗物质的神秘
11 宇宙弦
12 通往另一个维度的旅程
13 回到未来
14 超越爱因斯坦
超空间
书名页
版权页
目录
《超空间》一书的发行评语
前言
致谢
第一部分 进入第五维空间
1 超越时空的世界
2 数学家和神秘主义者
3 看见四维的人
4 光的秘密：四维中的振动
第二部分 统一在十维中

5 量子异端
6 爱因斯坦的复仇
7 超弦
8 来自第十维度的信号
9 创世之前
第三部分 虫洞：通往另一个宇宙的关口？
10 黑洞和平行宇宙
11 建造时间机器
12 碰撞的宇宙
第四部分 超空间的主人
13 超越未来
14 宇宙的命运
15 结论
注释
平行宇宙：新版
书名页
版权页
目录
致谢
前言
第一部分 宇宙
第1章 宇宙诞生时的情景
第2章 荒谬的宇宙
第3章 大爆炸
第4章 膨胀和平行宇宙
第二部分 多元宇宙
第5章 空间入口和时间旅行
第6章 平行量子宇宙
第7章 M理论：所有弦理论之母
第8章 设计者宇宙？
第9章 寻找来自第11维度的回声
第三部分 遁入超空间
第10章 万物之终结
第11章 逃离宇宙
第12章 超越多元宇宙
注释
词汇表
不必逃逸我们的宇宙
心灵的未来
书名页
版权页

目录

致 谢
引 言
第一部分 心灵和意识
1 揭开心灵
2 意识——物理学家的观点
第二部分 心胜于物
3 心灵感应：思维之海中的沧海一粟
4 心灵遥感：意念控制事物
5 可定制的记忆和思想
6 爱因斯坦的大脑与智力提升
第三部分 改变的意识
7 在你的梦中
8 心灵能被控制吗？
9 发生改变的意识状态
10 人工心灵和硅意识
11 对大脑进行反向工程
12 未来：物质以外的心灵
13 作为纯能量的心灵
14 外星人的心灵
15 结 语
附 录
注释
物理学的未来
书名页
版权页
目录
引言 预测下一个100年
1．计算机的未来 智力胜过物质
2．人工智能的将来 机器的出现
3．医学的未来 完善和超越
4．纳米技术 万物从无产生？
5．能源的未来 来自星星的能量
6．未来的太空旅行 星际遨游
7．未来的财富 赢家与输家
8．人类的未来 行星文明
9．2100年的一天生活
致谢